

# Technológia és Társadalom

**Vállalható kockázat**

**Kognitív  
torzítások a  
kockázat  
becslésében**

# Valószínűségek becslése

- Melyik valószínűbb halálok (1)?
  - a) Kutyatámadás
  - b) Leesés bútorokról a saját lakhelyünkön
- Melyik valószínűbb halálok (2)?
  - a) Repülőgép szerencsétlenség
  - b) Villámcsapás
- Hol jelenik meg a K betű nagyobb valószínűséggel?
  - a) szó elején
  - b) szó harmadik betűjeként

# Availability bias - elérhetőségi torzítás

- Az elérhetőségi torzítás azt jelenti, hogy nagyobb valószínűségűnek tartjuk azokat az eseményeket, amelyekre könnyebben tudunk példát felidézni.
  - Ok: amikor becsülnünk kell, számbavesszük, hogy milyen példákat ismeünk
- Példa:
  - Annak, hogy repülőbalesetben halunk meg, 1 a 11 millióból az esélye
  - Valószínűbb, hogy villámcsapástól\* halunk meg 1 a 10 millióból
  - A hírekben azonban jobban reprezentáltak a repülőszerencsétlenségek
- Semmi ok azt gondolni, hogy ez a torzítás csak a laikusokat érinti - a technológiák kockázatbecslése ugyanúgy érintett

# Komplex szituációk lehetséges kimeneteleinek valószínűségbecslése

- Kísérlet: A britek és a nepáli gurkák fegyveres konfliktusa, 1814
  - Ez Fischhoff és Beyth klasszikus kísérlete 1975-ből
  - Előjelek és előzetes információk ismeretében becsüljük meg a lehetséges kimenetek valószínűségét!

*(A slide kapcsán hallgatóknak kiadott handout segítségével demonstráljuk a kísérletet)*

# Utólagos bölcsesség

- Az *utólagos bölcsesség* kognitív torzítás miatt azt a kimenetet tartjuk várhatóbbnak, amely végül bekövetkezett.
- “*Végig tudtam hogy ez lesz*” hatás
  - Az előző példánál: ha az alany azt hiszi, hogy végül a britek nyertek akkor azt tartja várhatónak, ha a gurkákat hiszi győztesnek, akkor azt
- Ez a torzítás komolyan befolyásolja a műszaki katasztrófák vizsgálatát

# Becslések hozzávetőleges pontossággal

- Sok numerikus adatot nem ismerünk pontosan, ez természetes
  - Hány afrikai ország van az ENSZ-ben?
    - *Kíséreljük meg e szám becslését!*
  - *Tversky és Kahneman kísérlete 1974-ből*

*(A slide kapcsán kísérlet a hallgatókkal)*

# Lehorgonyzás

- A lehorgonyzás kognitív jelensége abban áll, hogy egy becslést megelőzően megismert adat - még akkor is, ha semmi köze a becsléshez - képes a becslést befolyásolni.
  - Minél kevesebb idő van a becslésre annál inkább
- Ez azt jelenti, hogy jelentősen befolyásolja egy szakértő becslését az, hogy mit kérdezünk pontosan, és milyen sorrendben



# A Challenger katasztrófa



# Mi történt?

- **1986. január 28-án**, 11:38-kor a kilövés után a jobb oldali gyorsító rakétánál füst keletkezik, majd hetvenhárom másodperccel ezután robbanás következik be
  - az űrsikló roncsai az óceánba zuhannak
- Az első amerikai űrkatasztrófa, ami repülés közben következett be
- **A fedélzetén lévő 6 asztronauta és 1 civil életüket veszítették**

# Mi történt?

- Mindez **nagy nyilvánosság előtt történik**: az élő televíziós közvetítés, és a „Tanár az űrben” program miatt
  - Kérdés, hogy igazából hányan nézték végig élőben a katasztrófát?



# Kérdések- magyarázatok

- Egy mérnök **megmondta** a kilövés előtti este, hogy a Challengert nem szabad fellőni...
- Miért mondta ezt? Honnan tudta, hogy gond lesz?
- Ennek ellenére a vezetők **miért döntöttek úgy**, hogy fellövik az űrsiklót?



# Miért történt?

- Első lépés: a **műszaki magyarázat megtalálása**
- A William Rogers által vezetett elnöki vizsgálóbizottság megállapításai:
  - Egyértelműen kiderül, hogy a katasztrófát egy, a hordozórakétákban található **gumi tömítőgyűrű, az O-gyűrű okozta:**
    - A rakéta tömítése működött elégtelenül: a füst színe, sűrűsége, keletkezési helye rögtön elárulja ezt
    - A kiáramló forró gázok átégették a jobb oldali gyorsító rakéta alsó-középső részét, és az ezt szigetelő O-gyűrűt

# Miért történt?

- Tény továbbá, hogy az űrsikló kilövése a **korábbiaknál alacsonyabb hőmérsékleten** történt
- A bizottság megállapításain túl, egy sajtótájékoztatón **Richard Feynman** Nobel-díjas fizikus a tömítőgyűrű egy darabját jeges vízbe téve pillanatok alatt szemléltette, hogy a gumi anyag alacsony hőmérsékleten elveszíti rugalmasságát.



# Erről ne tudott volna a NASA?

- Második lépés: a **felelős megkeresése**
- Ráadásul az is kiderült, hogy a kilövés előtti este néhány mérnök az űrsikló építéséért felelős alvállalkozó cégtől **előre felhívta a figyelmet** a veszélyre
- A közkeletű hiedelem szerint az alvállalkozó cég menedzserei (tartva a NASA menedzsereitől) **lebeszéltek a mérnöki apparátust a további tiltakozásról**

# Erről ne tudott volna a NASA?

- Tények:
  - 1986-ban igen nagy nyomás volt az űrsikló gyártáson;
  - A Challenger fellövését négyszer is elhalasztották (időjárás, világítás, ajtóhiba, oldalszél, tűzérezékelő...)
  - Ez az űrsikló várt a legtovább a fellövésre
- Általános konklúzió: a **nagy nyomás miatt felelőtlen döntés született**, a bürokraták és döntéshozó menedzserek felülbírálták a szakértőket, a mérnököket...



# A gyanúsan egyszerű tanmese (1)

## Kik a „jók” a történetben?

- Az alvállalkozó cég mérnöke, Boisjoly, aki a fellövés előtti este mindent megtett a halasztásért
- Feynman, aki egy perc alatt bemutatta, mi volt a hiba

## Kik a „rosszak”?

- Az amorális menedzserek
- A gazdasági-politikai nyomás, ami áthatja az USA minden szegletét, a legnagyobb projektek is beleértve

# A gyanúsan egyszerű tanmese (2)

Tartható ez az olvasat?

- Hiszen akármekkora volt is a nyomás a menedzsereken, **nem életszerű, hogy egy katasztrófát könnyedén kockáztattak volna**
- A történtek a saját űrprogramjukat és karrierjüket vetették vissza (nyugdíjazás, lefokozás, két év szünet az amerikai űrprogramban)

# A gyanúsan egyszerű tanmese (3)

- A biztonság nyilvánvaló módon még egy velejéig amorális menedzser számára is prioritás
- Azt is tudjuk, hogy az **O-gyűrű veszélye ismert volt** és foglalkoztak is vele a mérnökök

Egyre gyanúsabbá válhat az a megállapítás, hogy a fellövés felelőtlen, szakmailag megalapozatlan döntés volt

- Nézzünk a dolgok mélyére!

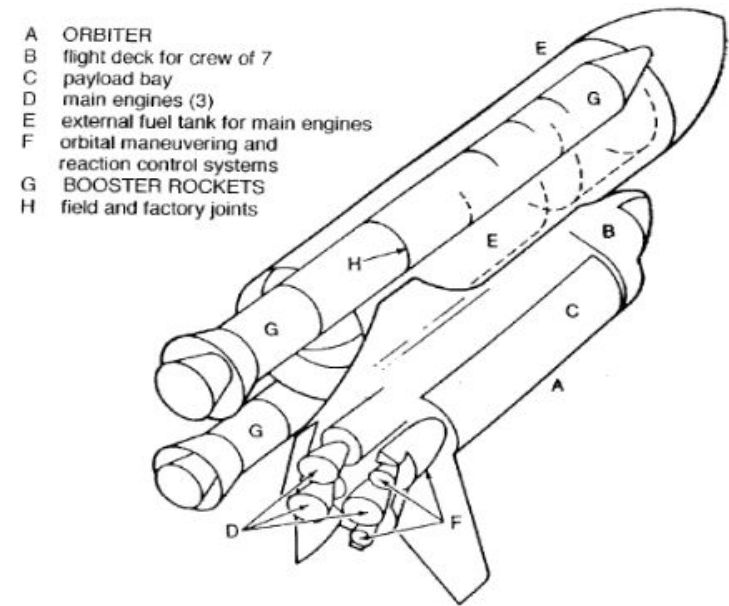
# Mi az az O-gyűrű?

- Az űrsikló kilövése során szilárdüzemanyag-meghajtású hordozórakétákat (Solid Rocket Booster, SRB) használnak
- Ezek a rakéták másodpercenként 10 tonna üzemanyagot égetnek el
- A fúvókákon keresztül forró gázként eltávozó elégett üzemanyag emeli el az űrsiklót a kilövőállomásról



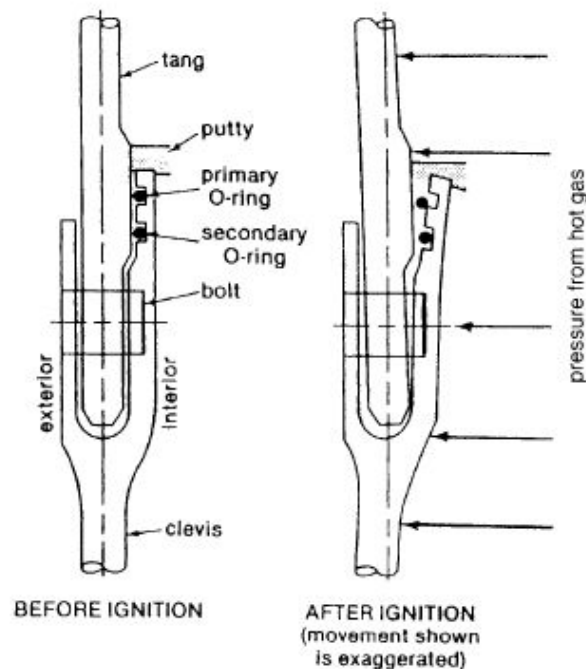
# Mi az az O-gyűrű?

- A forró gáznak a kilövés során csak a fúvókákön át szabad távoznia
- A tartályt egyszerűbb több szekcióból elkészíteni
- Minden segédrakéta 4 szekcióból áll, amelyet a Morton Thiokol cég gyárt Utah-ban
  - darabokban szállítják a Kennedy űrállomásra összeszerelésre



# Mi az az O-gyűrű?

- Ennek következménye egy megoldandó technikai probléma
  - a kilövés során a szekciók az illesztések mentén kifelé hajlanak (joint rotation)
- A tömítőgyűrűk (O-gyűrűk) ahhoz szükségesek, hogy a meghajló illesztések mentén ne távozhasson el forró gáz a rakétákból



# Technológiai változás: dupla O-gyűrű

- A korábban használt Titan-rakétáknál szekciónként csak egy O-gyűrűt használtak
- 1973-ban a Morton-Thiokol elnyerte a szerződést a hordozórakéták gyártására
- Ekkor még semmilyen probléma nem merült fel az O-gyűrűkkel kapcsolatban, a Titan-rakéták megbízható részének tekintették azokat
- Az SRB hordozórakétákba illesztésekként már két O-gyűrűt szereltek, a másodikat pusztán redundáns alkatrészként

# Két mérnökcsapat

- Az SRB rakéták tervezéséért és teszteléséért két mérnökcsapat vállalta a felelősséget:
  - A Thiokol mérnökei Utah-ban
  - A NASA rakétamérnökei (a Wernher von Braun által alapított) Marshall Centerben, Texasban



# Két mérnökcsapat

A megrendelő és a kivitelező is részt vesz a tesztelésben!

- A NASA mérnökei feladatuknak tartották a beszállító Thiokol eredményeinek ellenőrzését (kontroll!)
  - A NASA csapata a szigorú és konzervatív tervezési stílusukról volt híres
  - A Thiokolnál a NASA embereit „bad news guys”-nak hívták maguk között



Marshall Space  
Flight Center

*Thiokol*

# Gondok az O-gyűrűvel

- A tesztelések általában párhuzamosan zajlottak
- Az illesztési problémát mind a két csapat hamar észlelte, ám különböző fontosságot tulajdonított neki
- Számításbeli különbségek:
  - A Thiokol mérnökei szerint a tömítés megfelelő lesz a kilövés során
  - A NASA mérnökei szerint a kilövés során lesz olyan pillanat, amikor rés lesz a két szekció között

# Az első teszt

- 1977-ben végezték a Thiokol mérnökei
- A szekciók illeszkedéseit 20-szor egymás után akkora nyomású vízzel terhelték, mint amekkora nyomás az illeszkedésekre nehezedik a kilövés folyamán
- A Thiokol álláspontja a saját teszten bukik el:
  - A teszt a NASA mérnökeit igazolja: a szekciók között valóban rés keletkezett egy rövid időre

# Az első teszt

- Hogyan lehet kijönni ebből a helyzetből?
- A Thiokol mérnökei utólag azt mondják, hogy a teszt nem volt realiztikus, két okból:
  - A kilövés során csak egyszer hat ekkora nyomás:
    - Továbbá a gyűrűk az első 8 terhelés alatt tömítettek
  - A teszt során a szekciók vízszintesen álltak, és nem függőlegesen, mint a kilövés során

# Az első teszt

- A vita lényege:
  - Annak eldöntése, hogy kísérleti szempontból milyen körülményeket minősítünk hasonlóknak, vagy éppen különbözőnek?
  - Ez mindig emberi döntés függvénye a tudományban és a technológiában is, beleértve ebbe a mérnöki kérdéseket is!

# További tesztek

- A következő tesztek még rosszabb eredményeket hoztak
- Az elektromos teszt során mindkét csapat elektromos műszerekkel szimulálta a szekciókra nehezedő nyomást, melynek általános tapasztalata, hogy:
  - Az elsődleges tömítőgyűrűk kiégtek
  - A másodlagos tömítőgyűrűk kimozdultak a helyükről így nem tömítettek

# További tesztek

- **Mérésbeli különbség:**
  - A Thiokol mérnökei szerint a NASA elektromos eszközeinek beállításával valami probléma lehetett
  - ők ugyanis nem tapasztaltak ekkora mértékű elváltozást náluk a másodlagos gyűrűk megfelelően tömítettek.

# A kísérletező regresszusa

- Honnan tudjuk, hogy működőképes lesz egy tervezett technológia?
  - Onnan, hogy sikeresen szerepel a teszteken...
- De honnan tudjuk, hogy jó egy teszt?
  - Onnan, hogy jól szimulálja a működőképes technológiát – ami még csak egy terv
- A kísérletező regresszusa:
  - A korrekt eredmény csak a kompetens kísérletből jöhet ki
    - de hogy mi a kompetens kísérlet, azt az eredmény tudná megmutatni
  - Ez egyfajta 22-es csapdája: nem tudjuk, mi volna a megfelelő teszt



# Vállalható kockázat

- A NASA és a Thiokol mérnökei arra próbáltak felkészülni, hogy a gyűrűk a lehető legrosszabb esetben is zárjanak
- Azonban ezzel kapcsolatban sem értettek egyet:
  - **Az elektromos teszt tapasztalataiból kiindulva a Thiokol mérnökei szerint a másodlagos gyűrű mindig tömíteni fog**
  - A NASA mérnökei szerint a lehető legrosszabb esetben a másodlagos gyűrű is elmozdulhat a helyéről
  - Ám egy idő után a bizonytalanságok, tapasztalatkülönbségek és konszenzushiány ellenére „**vállalható kockázatúnak**” nyilvánították a gyűrűket
- Ezek után jöhettek az első fellövések

# Problémák (1) Kalkulálható erózió

- Az első repülések során néha egy-egy gyűrű a vártnál jobban erodálódott
- Hamarosan rájöttek, hogy a gyűrűket védő anyagon apróbb lyukak keletkeztek, emiatt a gyűrű megég a kilövés során
  - Ez rosszabb eredmény volt a vártnál, de azt tapasztalták, hogy a másodlagos gyűrűk minden esetben jól tömítenek
- A tesztrepülések során megtanulták egyre jobban kalkulálni az erodálódás mértékét
  - úgy gondolták uralják a nehézségeket

## Problémák (2) Átfúvások

- Először 1985-ben jelentkezett az ún. „blow-by” jelenség, amikor a kinyílás pillanatában az első tömítőgyűrűn túljutnak a kiszabaduló forró gázok, mielőtt az még rendesen szigetelni kezdene
  - Ez a közvetlenül a másodlagos gyűrűt is veszélyeztetheti!
- Roger Boisjoly (a Thiokol egyik mérnöke) úgy sejtette, hogy az alacsony kilövési hőmérsékletnek köze lehet a jelenséghez
  - kísérletsorozatot javasolt ennek megvizsgálására, de ezt nem tekintették sürgősnek.

## Problémák (2) Átfúvások

- A váratlan jelenség ellenére a mérnökök (Boisjoly is!) úgy gondolták, hogy a sérülés a biztonsági határokon belül van, az űrsikló újabb kilövésre alkalmas:
  - „Hasonló viselkedés jelentkezhethet. Nem kívánatos, de elfogadható.”
- Az 1985 áprilisi kilövések melegeben zajlottak
  - ekkor erős átfúvást tapasztaltak
  - A másodlagos gyűrűk is megégtek
    - Ennek ellenére jól tömítettek a kilövés során
- Tehát: figyelmet szenteltek a jelenségnek
  - de továbbra is elfogadható mértékűnek minősítették a vele járó kockázatot

# A kilövés előtti este (1)

- A kilövés előtti három éjszaka Floridában rekord hideget mértek
- Másnapra a kilövés idejére az előrejelzések szerint  $-1^{\circ}\text{C}$  fokra számítottak
- Este telekonferenciát tartottak a Thiokol és a NASA mérnökei és menedzserei (összesen harmincnégyen) a tömítőgyűről

## A kilövés előtti este (2)

- A Thiokol mérnökei azt javasolták, hogy ne legyen kilövés 12°C alatt, mivel a legnagyobb roncsolódás a gyűrűkben a legalacsonyabb kilövési hőmérséklet esetén fordult elő
- A Thiokol mérnökei ellen szólt (ezt ők is tudták), hogy a második legnagyobb roncsolódás viszont a legmagasabb hőmérsékletű kilövés esetén történt

# A kilövés előtti este (3)

- A NASA mérnökei szerint a Thiokol által tett javaslat nem volt kellően megalapozva:
  - önkényesnek ítélték meg a 12°C-ot mint korlátot
- Nem értették, hogy a Thiokol mérnökei miért csak a kilövés előtti este tették ezt a javaslatot
  - és hogy miért most kívánják bevezetni a hőmérsékletet mint döntő faktort
- A Thiokol-mérnökök elleni érvelés közben hangzott el a NASA egyik mérnökétől a következő elhíresült mondás: „*My God, Thiokol, when do you want me to launch, next April?*”

# A kilövés előtti este (4)

- A Thiokol mérnökei öt perc szünetet kértek belső tanácskozásra, amiből végül egy félórás vita lett:
  - Boisjoly és kollégája, Arnie Thompson a korábbi álláspontjukat védték
  - Főnökük, Jerry Mason a NASA mérnökeinek álláspontját ismételte
  - Tény, hogy nem volt egyértelmű bizonyíték a hőmérséklet és az átfúvások összefüggésére
  - Végül Mason azt mondta, ha a mérnököknek nincs újabb érve, ideje menedzseri döntést hozni



# A kilövés előtti este (5)

- Ezután Mason megszavaztatta a vezetőket (akik maguk is mind mérnökök voltak):
  - Hárman a kilövés mellett szavaztak, egyikük pedig habozott. Ekkor Mason a következőt mondta neki:
    - *„Itt az ideje, hogy levedd a mérnök sapkádat, és feltedd a menedzsersapkát.”*
    - Végül ő is a kilövés mellett tette le a voksát.

## A kilövés előtti este (6)

- A Thiokol menedzsment egyöntetű szavazása után folytatódott a telekonferencia a NASA mérnökeivel
- George Hardy, a NASA csoportjának vezetője megkérdezte, felmerült-e új érv a kilövés elhalasztására, illetve hogy van-e bárkinek további megjegyzése, egyetért-e mindenki a másnapi kilövéssel
- Senki nem jelentkezett szólásra
  - a telekonferencia 11:15-kor véget ért
- A katasztrófa ismeretében ez nyilvánvalóan végzetes döntés volt – ez azonban **utólagos bölcsesség!**

# Konklúzió (1)

- Az őszinte mérnököket lenyomó amorális menedzserek története túl egyszerű!
  - A NASA és a Thiokol mérnökei tudtak a tömítőgyűrűvel kapcsolatos problémákról
  - A Thiokol mérnökei nem tudták adatokkal megfelelően alátámasztani a kilövés elhalasztására vonatkozó álláspontjukat
  - Egymásnak ellentmondó mérnöki álláspontok közül azt választották, amelyiket az adatok alátámasztani látszottak
  - A két szervezet között kommunikációs hiba van

## Konklúzió (2)

- **Kölcsönös szakmai tévedés** történt
- Menedzser vs. mérnök felállás helyett: **mérnök vs. mérnök**
- **Nem létezik kockázatmentes technológia;**
- **A kockázat nem küszöbölhető** ki a szakmai döntések során
  - Ezt a legtöbb gyakorló szakember tudja, a közvélemény azonban nem!

**Találkozunk  
a következő  
órán!**