

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

Az első kérdésre a válasz: 30x többen halnak meg a saját lakásukban bútorról leesve, mint ahányan kutyatámadásban
A második kérdésre a válasz: a szó harmadik betűjeként sokkal gyakrabban fordul elő

A felidézhetőség miatt azonban ezeket a valószínűségeket nem jól mérik fel az emberek: sokkal nagyobb valószínűséget tulajdonítanak azoknak a dolgoknak, amelyekre könnyebben idéznek fel példát.

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

További számok

- Autóbaleset: 1 a 8 ezerben
- Vonatbaleset: 1 az 500 ezerben
- Vízfórralás közben: 1 az 5 millióban
- Cápátámadás: 1 a 300 millióban
- Vidámparkban: 1 a 300 millióban

* Éghajlattól függően

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)

5 csoportot alkotunk
Mindenki megkapja:

Olvassák el figyelmesen az alábbi szöveget:

1) Néhány évvel azután, hogy Hastings Indiába érkezett kormányzó-tábornokként, a brit erők megszilárdítása komoly háborúkkal járt. 2) Az első háború Bengália északi határánál volt, ahol a britek a nepáli gurkák zsákmányszerző rajtaütéseivel találták szembe magukat. 3) Kísérletek történtek a rajtaütések megállítására területcserével, de a gurkák nem adták fel a követelésüket a brit irányítás alatt álló országgal szemben, 4) így Hastings úgy döntött, hogy egyszer s mindenkorra megoldja ezt a problémát. 5) A hadjárat 1814 novemberében kezdődött, és nem volt dicsőséges. 6) A gurkák csupán 12.000-en voltak, 7) de bátor harcosokkal rendelkeztek, akik olyan területen harcoltak ami jól megfelelt a rajtaütéses taktikájuknak. 8) Az idősebb brit parancsnokok síkságokhoz voltak szokva, ahol az ellenség menekül az elszánt támadások elől. 9) Nepál hegyein nem volt könnyű megtalálni az ellenséget. 10) A katonák és a szállító állatok szenvedtek a szélsőséges hidegtől és melegtől, 11) a tisztek csak éles meghátrálások után kezdtek óvatosak lenni. 12) Sir D Ochterlony volt az egyetlen parancsnok, akihez menekülni lehetett ezektől a kisebb vereségektől.

Négy csoport szövege eltérő befejezéssel végződik, de mindegyik tényként van tálalva.

- *(Végül a két oldal katonai patthelyzetbe került, de nem voltak képesek békemegállapodást kötni.)*
- *(Végül a két oldal katonai patthelyzetbe került, de végül képesek voltak békemegállapodást kötni.)*
- *(Végül a brit haderők a kezdeti veszteségek után már óvatosabb taktikákat alkalmaztak, és képesek voltak felülkerekedni a gurka csapatokon.)*
- *(Végül a brit haderők a kezdeti veszteségek után taktikát próbáltak váltani, de ez már túl későn és lassan történt ahhoz, hogy a generációk óta itt harcoló gurkákkal szemben a vereséget elkerüljék.)*

Az ötödik csapat csak az első 12 adatot kapja meg, nem kap lezárást. Minden csapathoz a kérdés a következő oldalon

Becsüljétek meg, hogy a 12 adat ismeretében mekkora volt az esélye az egyes kimeneteknek:

- *Patthelyzet békemegállapodással*
- *Patthelyzet békemegállapodás nélkül*
- *Gurka vereség*
- *Brit vereség*

Utólagos bölcsesség

- Az *utólagos bölcsesség* kognitív torzítás miatt azt a kimenetelt 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?
 - Melyik évben látogatott Einstein először az USA-ba?
- *Kíséreljük meg ezen számok becslését!*
 - *Tversky és Kahneman kísérlete 1974-ből*

(A slide kapcsán kísérlet a hallgatókkal)

Minden hallgató kap egy kártyát lefordítva. Meg kell néznie a kártyát, de úgy, hogy csak ő láthassa, hogy mi van rajta. Minden kártyán vagy a 15 vagy a 65 szám szerepel. Ezután az utasítás: *Becsüld meg, hogy hány afrikai ország tagja az ENSZ-nek! Gondolkodj el rajta és írd rá a papírra a becsült értéket!*

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 kérdezzünk 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 tömitése 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, tűzérzékelő...)
 - 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 projekteket 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 történetek 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?

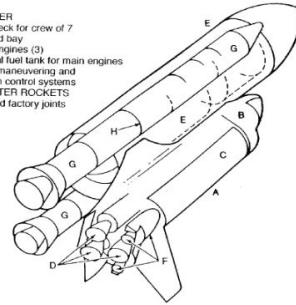
- Az űrsikló kilövése során szilárdüzemanyag-meghajtású hordozórakétákat (Solid Rocket Booster, SRB) használnak
- Ezek a rakéták másodpercenként 10 tonna üzemanyagot égetnek el
- A fúvókákon keresztül forró gázként eltávozó elégett üzemanyag emeli el az űrsiklót a kilövőállomásról



Mi az az O-gyűrű?

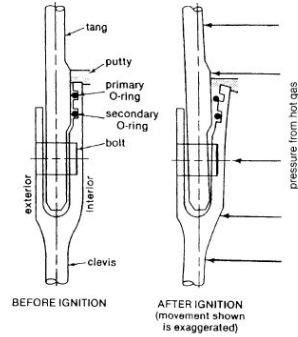
- A forró gáznak a kilövés során csak a fúvókákon át szabad távoznia
- A tartályt egyszerűbb több szekcióból elkészíteni
- Minden segédrakéta 4 szekcióból áll, amelyet a Morton Thiokol cég gyárt Utah-ban
 - darabokban szállítják a Kennedy űrállomásra összeszerelésre

A ORBITER
B flight deck for crew of 7
C payload bay
D main engines (3)
E external fuel tank for main engines
F orbital maneuvering and reaction control systems
G BOOSTER ROCKETS
H field and factory joints



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 észékelte, 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 realisztikus, 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

Mérésbeli különbség:

A Thiokol mérnökei szerint a NASA elektromos eszközeinek beállításával valami probléma lehetett: ők ugyanis nem

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 jelentkezhet. Nem kívánatos, de elfogadható.”
- Az 1985 áprilisi kilövések melegben 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°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 átfűvások 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 sapkádát, 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 tömítőgyűrűkkel 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)

- Kölcsonös 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!**