

Gátszakadások statisztikája Hollandiában

Dr. Nagy László

BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék (E-mail: lacinagydr@gmail.com)

ELŐSZÓ

Az árvízvédelem hagyományos eszköze az árvízvédelmi gát építése. A legöregebb gát Hollandiában, amiről tudunk, mintegy 2000 éves, a fríz Peins község mellett található. A gátak tönkremenetele a régmúlt időkben egy gyakrabban előforduló esemény volt. A végrehajtott preventív intézkedések eredményeként manapság a gátszakadás lényegesen ritkábban, de nagyobb katasztrófaként jelentkezik. Jelen közleményben elsősorban a Hollandiában bekövetkezett gátszakadások, tönkremeneteli mechanizmusok kerülnek összehasonlításra. Annak ellenére, hogy sokszor büszkén meséljük azt, hogy a magyarok által kialakított árvízvédelmi rendszerhez csak a holland mérhető Európában, azt kell mondani, hogy sok tekintetben elmaradásban vagyunk.

Jelen közlemény a gátszakadások statisztikai elemzésével foglalkozik, nem szétválasztva a folyami és tengeri árvizeket, de így is lehetőség nyílik a Kárpát-medence gátszakadásaival történő összehasonlításra (Nagy 2018) alapján.

BEVEZETÉS

A Németalföldet évezredek óta sújtják az áradások, különösen sok áldozattal járt, amikor az Északi-tengeri szél által felkorbácsolt hullámok elöntötték a sík és sok esetben mély területet. Ezen árvizek hatása a tízezrekben mérhető áldozatok száma, dűne- és sziget-szakadások valamint évszázadokig tartó elöntések jellemezték. Lényegesen kevesebb publikáció jelenik meg azonban a folyami árvizekkel kapcsolatban Hollandiában.

A korai gátak kisméretű körgátak voltak, melyeket elsősorban a tengerár ellen építettek a különálló gazdaságok, kisebb települések. Az első folyami gátak a torkolat környékén készültek abból a megfontolásból, hogy a tengeri árvíz ne a visszaduzzasztott folyón keresztül okozzon áradást. Majd a XII. századtól már városok is építettek gátakat, mint például Amsterdam vagy Rotterdam, ahogy a nevükben is benne van, az Amstel és Rotte folyók gátjairól van szó. (NHV 2004)

Markáns növekedés a lakosság lélekszámában 1000 környékén kezdődött. 1100 környékén már egyre több gátat emlegetnek a források. Az Omringdijk egy 120 kilométer hosszú körgát, mellyel egy nagy biztonságos életteret hoztak létre a Nyugat-Fríz területen. Ez a gát szintén a tenger kiöntése ellen épült, ma is látható, és öt napos az a séta, amivel az egész gát bejárható. 1400 körül az árvíz még nagyobb probléma volt a gyorsan növekvő és fejlődő Hollandia számára. Különleges problémát jelentett ezekben az időkben a terepszint süllyedése. A tengerrel párhuzamos területek egy nagy része a folyamatos süllyedés hatására a tenger és a folyó szintje alá került.

Évszázadokon át Hollandia számított a gátépítés példaképének, mert azokban az időkben a gátépítés volt a legjobb elérhető módszer. A gátak azonban sok esetben nem elégítették ki műszaki jellemzőik alapján a természet által elvárt igényeket, akadozott a fenntartásuk, elmaradt esetenként a gátszakadás megnyílásának betömeszelése, stb. Ezekről az

eseményekről tanúskodik az az 1735 gátszakadás, ami az 1134 és 2006 közötti időszakban kialakult a mai Hollandia területén.

Az ezer évnél is hosszabb időre visszatekintő Holland árvízvédelem ismeretei a történelmi gátszakadásokkal kapcsolatban több pilléren nyugszanak. Ezen katasztrofális árvízi események megőrzésének egyik módja a festményeken történő ábrázolás. A részletgazdag ábrázolásokról híres németalföldi festők sok árvizet és sok gátszakadást megörökítettek. Ezen képek tanulmányozása akkor is, ha egy részük csak a képzelet szüleménye, külön műszaki élményt jelentenek. Azokban az időkben, amikor csak a festmények voltak képesek megörökíteni az árvizet és annak következményét a pusztítást, kétségkívül jelenthette a távolabbi országrészek, más országok számára a megismerést. Így aztán relatíve sok festményen, képen láthatóak árvízi jelenetek, illetve gátszakadások, sőt még árvízvédekezés is. Ilyen képek jelen közleményben az 1., 6.-10. és 12. számúak.



1. kép Az 1421. évi Szent Erzsébet-napi gátszakadás és árvíz látomása ismeretlen németalföldi festőtől 1490-1495 közötti időből. A kép részlete a gátszakadást és a szétterülő vizet is mutatja.

Az árvízvédelmi gátak szakadásának másik fennmaradt tanúja a gátszakadásokor keletkezett kopolya, illetve a töltés helyreállításánál a földmű nyomvonalazása. A kopolya meglétére sok helyen találunk példát Hollandiában. Ezek egy része légi felvételeken, űrfelvételek alapján értékelhető. A 2. - 4. képek hollandiai gátszakadások után visszamaradt kopolyákat (hollandul kolk) illetve a kopolya elkerülésével megépített árvízvédelmi gátakat mutatnak. A fényképek és űrfelvételek lehetővé teszik a gátszakadások méretének felmérését, azok jellemző méreteinek meghatározását.

Egy többször átszakadt gát a Diefdijk (Schoonrewoerd mellett) mely közel észak-dél irányú, mintegy félúton Utrecht és Tilburg között messze a folyóktól, mintegy merőlegesen köti össze a Lek és a Linge (a középkorban még jelentős Rajna-ág volt) folyókat. Építésének célja a folyó felsőbb helyén keletkezett gátszakadásokból kiömlött víz megállítása volt. A gát 1284-ben épült, utána többször magasították és erősítették. Sokszor megállította a Rajna és a Maas kiömlött árvizét, hogy megelőzze dél-nyugat Hollandia elöntését. A Keleti oldalán lévő területet a gát gyakorlatilag "vízbefolytotta", elnéptelenedett, de a nyugati oldalán lévőket, mint például a legközelebbi települést Leerdamot, megővta. Így építésének célját elérte, de nem minden alkalommal. Néhányszor a víz ezt a gátat is áttörte. Az utolsó ilyen alkalom 1573-ban volt. A szakadás helyén hatalmas kopolya keletkezett és a gátat új nyomvonalon

állították helyre. A kopolya jelenleg egy nagy tó, a legnagyobb ilyen Hollandiában. A Diefdijk utolsó erősítése az 1809. évi Rajna árvíz után volt. A Holland gátak mellett sok kopolya van, Diefdijk mellett is három található emlékeztetve a régmúlt idők gátszakadásaira (Nagy 2018).



2. kép Gátszakadás kopolyája Utrecht mellett



3. kép Sorozatos szakadások következtében kialakult gát nyomvonal



4. kép Feltöltődött kopolya (kolk) Hollandiában

Az árvízvédelmi gátak szakadásának harmadik fennmaradt forrása az írott feljegyzések, dokumentumok. Ezek a dokumentumok országos, városi, helyi és a csaknem 750 évre visszatekintő polder tanácsok valamint Gátgrófok (Dijk Graaf) iratai között található fel. Az ilyen irányú írásos emlékek lényegesen szélesebb körűek és régebbiek, mint Magyarországon. A történelmi emlékekhez kapcsolódóan mindenképpen meg kell említeni azokat az archeológiai igényességű ásatásokat, melyek a régi gátak, gátkeresztmetszetek feltárásához tartoznak. A Nyugat-Fríz Omringdijk egyik szakaszánál végzett ásatást mutatja az 5. kép.



5. kép A Nyugat-Fríz Omringdijk keresztszelvényénél végzett ásatás



6. kép Az 1634. évi Burchard-napi árvíz okozta elöntés Észak-Hollandiában és Hamburg környékén egy korabeli ábrázoláson. A kép két gátszakadást is mutat a bekövetkezett 44-ből

GÁTAK TÖNKREMETELÉNEK STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE

Gátak tönkremenetelének vizsgálatánál éles különbséget kell tenni a tönkremenetel oka és a tönkremenetel mechanizmusa között. Az okok, vagy kiváltó okok azok, melyek azt a terhelést kiváltják, ami miatt állékonyság vesztes alakul ki, a gáton szakadás keletkezik. Ilyenek például a nagycsapadék, földrengés, emberi beavatkozás, stb. Mechanizmusok, ahogy a gát viselkedik az okok hatására.

A történelmi gátszakadások szisztematikus összeírásával lehetőség adódik a gátszakadások statisztikai értékelésére. Az árvízvédelmi, és egyéb gátak a történelmi tönkremenetelek statisztikai értékelésével – Babb & Mermel (1968), Sametz (1981), Middlebrooks (1953), Kroll (1983), Van Baars (2009), stb. - munkái alapján ismerkedhetünk meg. A megtörtént események statisztikájának (1. táblázat) alkalmazása hasznos segítség a tönkremeneteli valószínűség becsléséhez, azonban problémaként jelentkezik:

- Vannak-e statisztikailag értékelhető adatok hasonló eseményekre?
- Elég nagyok tekinthető-e az adatsor időben és térben?
- Van-e trend az adatsorban?

Ilyen felmérés korábban nem készült az árvízvédelmi gátaokról, pedig más országokban is tömegesen mentek tönkre a gátak egy-egy nagyobb árvíznél a rossz biztonsági stratégia következtében:

- az 1993. évi Mississipp-i árvíznél 103 gátszakadás volt csak a szövetségi gátaikon,
- az 1997-es Californiai árvíznél gátszakadások tucatjait regisztrálták nagyrészt a medence északi részén és
- az 1953. évi hollandiai árvíznél is - nagyon sok, egymásnak ellentmondó szám olvasható az interneten - 64 gáton mintegy 400 gátszakadáson keresztül folyt a víz az ármentesített területre (1. ábra).

Magyarországon is van példa a rossz biztonsági stratégiára, bár az annak idején nem számított annak. Az 1876 évi árvíznél (Nagy 2007) 343 gátszakadás került összeírásra a Kárpát-medencében. Kissé alacsonyabb számú gátszakadás volt az 1879, 1881 és 1888 években, elsősorban a Tisza-völgyében.

A holland árvízvédelmi gátak szakadásait mutatja 1750 és 1927 között időbeli válogatással a 2. ábra a Rajna-völgy keleti felében.



7. kép A Rajna egyik gátszakadása. 1809-ben az utóbbi ezer év talán legnagyobb folyami árvize volt Hollandiában

Nagygátak tönkremeneteli mechanizmusait mutatja a 1. táblázat. A különböző szerzők adatai nem mutatnak lényeges eltérést. Tényként megállapítható, hogy a meghágás 23-38 %-os részarányt képvisel, a szivárgással kapcsolatos tönkremenetek pedig 30-44 %-al a legmagasabb értéket. Viszonylag alacsonyabb a suvadással kapcsolatos százalék és az egyéb tönkremeneteli mechanizmusok hányada.

1. táblázat Nagygátak tönkremeneteli mechanizmusának megoszlása

Tönkremeneteli mechanizmus	Gruner (1967)	Middlebrooks (1953)	Takase (1967)	USCOLD (1975)	Babb & Mermel (1968)
Meghágás vagy elégtelen kapacitású túlfolyó	23	30	28	38	36
Buzgár vagy szivárgás	40	38	44	44	30
Suvadás	2	15	10	9	15
Egyéb különböző mech.	35	17	18	9	19

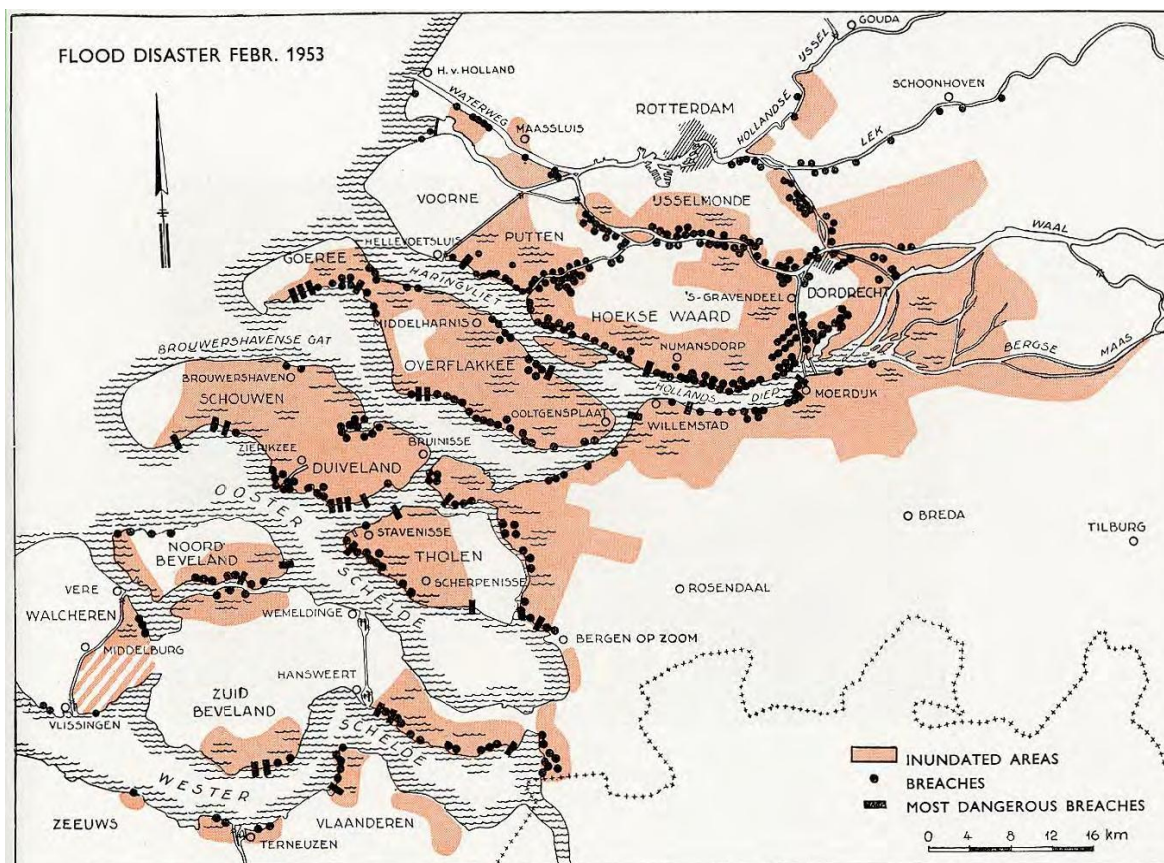


8. kép 1770. évi árvíznél keletkezett megnyílás befoltozása

A 2. táblázattal kapcsolatos rövid összefoglaló megjegyzések a következők:

- A táblázat fejlécében található két sorban szerepelnek az információk, hogy az adatok elemzése milyen gátra vonatkozott (árvízvédelmi gát, csatorna töltés, zagygát, nagygát vagy tengerparti védelem), illetve hogy károsodás volt, vagy gátszakadás. Lényeges a különbség a tönkremenetek és károsodások között.
- A tönkremeneteli mechanizmusok eltérősége a 2. táblázat alapján is nyilvánvaló. Egyértelmű, hogy a hibás kivitelezés, a jégzajlás, a süllyedés, stb. nem mechanizmusok, hanem okok. Kétségtelen, hogy a kategóriák harmonizálása elősegítené az összehasonlítást, habár tudjuk, hogy a belső erózió és a buzgár között nagy a hasonlóság, mégis ragaszkodni kell az eredeti megfogalmazáshoz.
- Lengyelországi árvízvédelmi gátaknál tapasztalt károsodások megoszlását mutatja a 2. táblázat Krol (1983), amivel kapcsolatban fel kell hívni a figyelmet, hogy a táblázat csak károsodásokat tartalmaz, és a mechanizmusokat keveri az okokkal.
- Összesen 115 ausztriai gátszakadás eredményét dolgozta fel Sametz (1981), vegyesen van benne a völgyzárógát, árvízvédelmi gát és csatorna töltés (2. táblázat).
- Japán árvízvédelmi gátak tönkremenetelénél az első írásos adat 758-ból való. Az 1947-69 közötti évek gátszakadásainál 283 gátszakadásnál csak négy kategóriát különböztetnek meg (Fukunari 2008). A meghágások száma dominál 231 esettel (2. táblázat). A tágabb értelemben vett erózió (vízoldali elmosás, belső erózió, elhabolás) 32 esetben (11,3 %) fordult elő, míg a csurgás és a rézsűcsúszás is egy kategóriaként szerepel 15 db (5,3 %) előfordulásával. A gátszakadás egyéb mechanizmusaként 5 esetet tartanak számon. Szerencse, hogy minden mechanizmust ismertek és az is, hogy a 238 gátszakadásnál egyiknek sem volt műtárgy tönkremenetel a mechanizmusa.
- Jó műtárgyakat építenek a holland árvízvédekezők, mert Van Baars (2009) közleményéből az derül ki, hogy az 1134-2003 évek közötti időintervallumban egyetlen műtárgy miatti tönkremenetelük sem volt és megbízhatóak a történelmi adatok, mind az 1735 összeírt gátszakadásnak ismerik a tönkremeneteli mechanizmusát.
- A statisztikai adatok között legnagyobb gyakorisággal a gát szintmeghaladása (meghágása) szerepel. Mind a nagygátaknál, mind az árvízvédelmi gátaknál a nem megfelelő vízhozam és vízállás meghatározás volt a legtöbb gátszakadás oka, így az esetek 32-67 %-ban nem volt megfelelő magasságú a gát.
- 24-60 %-ban a töltés talajával, vagy az altalajjal összefüggő geotechnikai problémák jelentették a tönkremenetel mechanizmusát (szivárgások, talajtörések, erózió, stb).
- Zagygátak tönkremenetele hasonlóan változatos (Nagy 2011, 2012), mint a földgátaké, azzal az eltéréssel, hogy a földrengés és a zagy megfolyósodása földrengés hatására viszonylag nagy számban fordul elő.
- Nem a gátszakadások mechanizmusára utalnak az első feltöltés idejéhez viszonyító tönkremeneteli adatok.

A különböző országokban eltérő megnevezéseket használnak a mechanizmusokra, így ezeket kellett a 2. táblázatban harmonizálni. A magyarországi és Kárpát-medencei adatokat Nagy (2017) ismerteti.



1. ábra Gátszakadások és az elöntött terület az 1953. évi tengerárnál

2. táblázat Gátkárosodás és gátszakadás mechanizmusa különböző szerzőknél

Szerző	Sametz	Krol	Fukunari	ICOLD	ICOLD	Baars
károsodás/szakadás	sz	k	sz	sz	k	sz
publikálás éve	1981	1983	2008	1984	1974	2006
nagygát-árvízvédelmi gát-csatorna töltés-tengerpart	n/á/c	á	á	n	n	á/t
mennyiség	db	%	db	%	%	%
meghágás	43	32	231			67
mechanikai törés	12					
töltés szivárgás		25				
kontúr szivárgás				11		
altalaj szivárgás		25				
szivárgás				27	25	
műtárgy tönkremenetel					3	
süllyedés				13	8	
buzgár	40					1
hidraulikus talajtörés			31			
belső erózió				28	13	
tömörítés				5	4	
rézsűcsúszás		3	15	9	9	5+3
rézsűvédelem					9	6
földrengés					2	
jégzajlás						11
hibás kivitelezés		7				
egyéb	10	8	5	7	27	7
összesen	105	100	283	100	100	100

Az árvízvédelmi a gátak a nagygátaknál megismert tönkremeneteli mechanizmusokkal mennek tönkre. Itt is nagy probléma az okok és mechanizmusok szétválasztása. A 2. táblázatban az ICOLD adatok meghágás nélküli összesítése látható.

Nem volt egyszerű Van Baars (2009) adatait harmonizálni más szerzők adataival. Kétségtelen tény, hogy a meghágás a történelmi tönkremeneteli mechanizmusok része, azonban a meghágás, mint okhoz tartozó tönkremeneteli mechanizmus többféle lehet, úgymint a mentett oldali rézsű eróziója, a korona eróziója, a mentett oldali rézsű suvadása stb. A gátszakadások okának utólagos vizsgálata, azok statisztikai feldolgozása is hozzájárult ahhoz, hogy egyre biztonságosabb gátakat terveznek, a nagygátak tönkremeneteli valószínűsége jelentősen csökken. A nagygátak tönkremenetelének vizsgálatakor külön kell elemezni a különböző anyagú gátak, a beton (íves és súly) gátak, a kőszórás gátak, a falazott gátak, földgátak, stb. tönkremenetelét.



9. kép. Egy elképzelése a jégdugó által okozott árvíznek, amely akkor következik be, amikor a befagyott folyó felolvad és a jég a folyó felszínén zajlik



10. kép Szt. Anton gát szakadása a Szt. Péter-napi árvíznél 1651. március 4-5-én

TÖNKREMETELI MECHANIZMUSOK NÉHÁNY SAJÁTOSSÁGA

Árvízvédelmi gátaknál egy tönkremeneteli mechanizmust több jelenség, több ok is kiválthat. Ugyanaz a tönkremeneteli mechanizmus meghágás és hullám átcsapás esetén, ugyanis mindkét esetben a mentett oldali korona, rézsű vagy töltésláb elmosásával alakul ki a gátszakadás.

Egy tönkremeneteli mechanizmust több ok, több hiba is okozhat, egymást erősítve. Laza talajban kialakulhatnak olyan járatok, mint amilyeneket állati kártevők is okozhatnak, melyeken keresztül szivárgás, csurgás indulhat meg, mely végül a töltés tönkremeneteléhez vezethet.

Egy tönkremeneteli mechanizmus több módon is kialakulhat. Mentett oldali rézsűcsúszás, mint tönkremeneteli mechanizmus kiváltó oka lehet vízterhelés, földrengés, vagy akár heves esőzés is.

Árvízvédelmi gátaknál időben egymással párhuzamosan működő és egymás után kialakuló mechanizmusok is okozhatnak tönkremenetelt. Ezeknél a valószínűség számítására még nincsenek kialakult módszereink, becslésük a feltételes valószínűségek alapján közelíthető. A feladat megoldása még további erőfeszítéseket igényel.

Több jelenség együttes, egyidejű jelenléte erősítheti a tönkremeneteli folyamatot, egy tönkremeneteli mechanizmus kialakulását. Ha például a töltésnél jobb vízvezető az altalaj, akkor az altalajból felfelé áramló víz gyorsabban telíti a töltést, mint ahogy az a töltésen keresztül kialakulhatna. Ebben az esetben a mentett oldali töltésrészre ható felhajtó erő lényegesen gyorsabban hat, mint ahogy az a töltés szivárgásból kialakulna. (Nagy 2000).

GÁTSZAKADÁSOK OKA

A Hollandiai gátszakadások teljes listája szerint 1735 gátszakadás volt 1134 és 2006 között. A 3. táblázat bemutatja a gátszakadások hat fő okát. Ez a táblázat mindemellett az árvizeket is három különböző korszakra osztja fel.

A tengeri viharból származó áradások általában mindig a legfontosabbak és a legpusztítóbbak voltak. Összesen 136 ilyen árvizet regisztráltak az Északi-tengeren 900 és 2006 között. Azon gátszakadások száma, melyet az 1862 után bekövetkezett viharok okoztak, még magasabbak volt ez az arány (72 %), mint korábban. Az ilyen árvíz reprezentánsa az 1953. évi Zeelandon, mely összevonásokkal 140 szakadást eredményezett.

3. táblázat A gátszakadások eredetének megoszlása

Okok	1134 – 1783	1784 – 1861	1862 – 2006	Összes
Tengeri vihar	60 %	8 %	72 %	55 %
Magas vízállás	23 %	27 %	14 %	22 %
Jégzajlás	5 %	57 %	0 %	11 %
Külső behatás, emberi / állati	5 %	0 %	5 %	4 %
Nagycsapadék / szárazság	4 %	8 %	8 %	5 %
Különböző	3 %	0 %	1 %	2 %
Gátszakadások száma	1271	217	247	1735

A gátszakadások második legfontosabb oka, a jég volt (11. kép). A tengeri gátaknál a jég által okozott szakadás eltér a folyóvízitől. A tenger felhalmozza a jeget, miközben az úszó jeget a szél fújja. A feljegyzések szerint minden folyónál alakult már ki jégdugó miatti gátszakadás az évszázadok során. A jégzajlás a kis jégkorszak legfontosabb tönkremeneteli oka volt, 1784 és 1861 között, a gátszakadások számának 57 % -át okozta (3. táblázat). A folyami árvízvédelemnél az áramló víz rátolja a jeget a gátra. A túlzott jégterhelésből és a jégzajlás

által okozott tolóerő miatt mintegy 140 folyóvízi gátszakadás volt, ez azonban csak mindössze 8 telet foglalt magába ebben a 77 éves időszakban. A talán legnagyobb jeges árvizet mutatja a 7. kép 1809-ből.



11. kép Jéghegy az 1789. évi árvíznél (korabeli ábrázolás)

A jég tehát jelentős probléma volt a múltban (9. és 12. képek). A régi holland feljegyzések szövege ezt jól mutatja: "A kormány kérte a prédikátorokat, hogy változtassák meg a szerdai közös mise szövegét. Másnap csütörtökön korán reggel 1729. február 3-án, 3:30-kor mindenki felriadt egy hangos távoli puffanásra: a jégdugó meglazult, megtört. A következő pár percben a vízszint kilenc hüvelykel (~22 cm) csökkent, és az emberek öröme hihetetlen volt."

1862 óta csak kisebb károkat okoz a jég, valószínűleg nemcsak azért, mert javult a gátak minősége, hanem azért is, mert a folyóvíz átlagos hőmérséklete 100 év alatt átlagosan több, mint három fokkal nőtt. Ennek eredményeként évente kevesebb napon volt jégzajlás (de Wessels és mtsi, 1999).



12. kép Jégdugó okozta gátszakadás 1799-ben

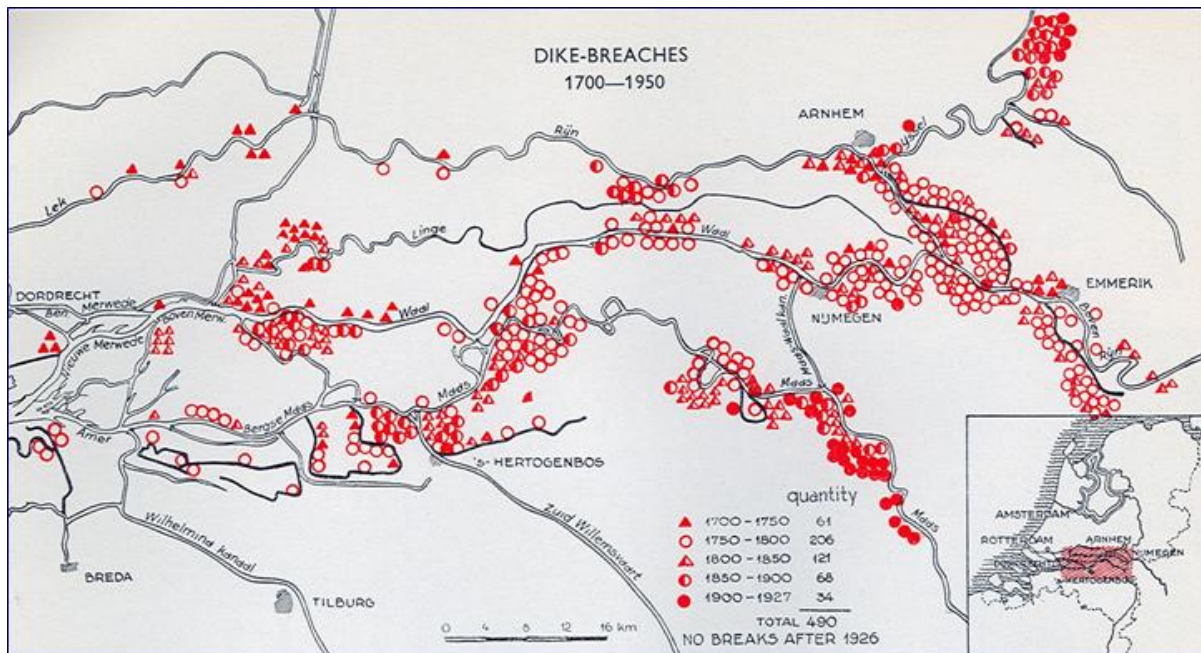
GÁTSZAKADÁSOK STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE

Az árvízvédelmi és tengerparti gátak gátszakadás statisztikai értékelését a Van Baars és Van Kempen (2009) cikkének rövidített szövege alapján értékelhetjük:

Az 1200-as év előtt még kevés gát volt, amit ismerünk azok mai szemmel alacsonyak voltak. 1200 és 1400 között már a fő folyók mindegyike valódi gátakkal volt körülvéve, de ezek gyakran komoly hiányossággal rendelkeztek. Gyakran túl meredek volt a rézsú, túl alacsony a töltés, túlságosan is sok tözeggel volt szennyezve a gát és nem volt megfelelő a rézsú védelme. Legalább 10 súlyos csapással dühöngött az árvíz a XIV. és a XVII. század között, a népesség mintegy 15-30 %-át megölte alkalmanként, a lakosság 16 %-át meghaladó mértékben elpusztította az éhínség (Delft városa, 1556) és több háború (100 éves polgárháború, 80 éves spanyol háború, második világháború). Ezek mellett árvízvédelem sokszor nem kapott kiemelt fontosságot. A szegénység és a tudáshiány szintén eltérítette az erőforrásokat a gátfejlődéstől. A napóleoni korszak azonban a töltésépítésben látta a fejlődést. A számos katasztrófa válaszul a jelenlegi kiterjedt árvízvédelmi rendszer nagyléptékű fejlesztése mintegy egy évszázada indult el. Először, 1912-ben a Zuiderseen történt súlyos gátszakadások és áradások következtében döntöttek úgy, hogy ezt a belső tengert bezárják az IJsselmeer-gát megépítésével, ami 1933-ra készült el. Hasonlóan, az 1953-as Zeeland-i katasztrófa után döntöttek úgy, hogy elzárják az ország délnyugati részén található szigeteket a tengertől. Ezt 11 nagyméretű gát építésével hozták létre. Ez a munka 1997-ben fejeződött be. Bár a holland árvízvédelmi rendszer sokat javult, továbbra is komoly gát problémák voltak a folyók nagy vizeinél, így 1988-ban, 1993-ban és 1995-ben. Ez 1993-ban 250 000 ember evakuálását eredményezte. 2006-ban még csak 44 %-a a 2875 km hosszú holland gát és megerősített dűne rendszerből volt olyan, melynek mérete megegyezett a Közmunkaügyi és Vízgazdálkodási Minisztérium előírásaival. Az IJsselmeer-gát is az egyike azon gátaknak, amelyek nem felelnek meg az előírásoknak.

Hollandiában a legrégebbi, feljegyzett árvize 838. december 26-ról származik. A holland gátszakadások áttekintése, Van Baars és Van Kempen (2009) munkájában a kritizált felmérési adatok 1134-es évvel kezdődnek, amikor Anselmus, Gembloers falu apátja Namen város közelében leírta, hogy "... az éjszaka csendjében nagy tengerrengés alakult ki". Az eredmény jelentős áradás volt Hollandia délnyugati részén, ahol a víz a dűnesort számos szigetre bontotta fel. Ez a szigetsoport ma Zeeland tartományához tartozik. 1287-ben kb. Hollandia teljes népességének 10 százaléka megfulladt a St. Lucia-napi árvíz következtében.

Hollandiában a gyilkosságokat a középkor elején általában a papok jegyezték fel, ugyanők vezettek naplót a fontosabb eseményekről. Később az árvizekről a részleteket a tartományi közigazgatások, az önkormányzatok és még később a vízügyi testületek rögzítették. A történészek nélkül lehetetlen történelmi áttekintést készíteni minden gátszakadásról és az árvizek és elöntések számtalan nyilvántartásából. Buisman (1995, 1996, 1998, 2006a, 2006b) megjelentetett öt könyvet tartalmazó sorozatot, amely felsorolta az összes ismert szél, időjárás és vízkár megfigyelést Hollandiában 763-tól 1747-ig. Gottschalk (1971, 1975, 1977) három könyvet publikált, amelyek felsorolják Hollandia összes tengeri viharát és folyók árvizeit 755 és 1700 között. Rosema (2002) közzétett egy listát a gátszakadásokról és tengeri viharokról 1500 és 2000 között. Ezeket a listákat 2006-ban összevonták és frissítették. *Minden esethez a gátszakadás okát és mechanizmusát utólag meghatározták*, hogy egy általános áttekintést lehessen szerezni. Sok esetben az eredeti források a gátszakadások számát, vagy a szakadások okát nem rögzítették, azonban ezt a 2006. évi módosítás már úgy mutatta be, mintha ismertek volnának. Ez az oka annak, hogy minden történelmi gátszakadás rendelkezik tönkremeneteli mechanizmussal Hollandiában.



2. ábra 330 db. folyami gátszakadás 1750-1927 között Hollandiában (Peters 2015)

GÁTSZAKADÁSI MECHANIZMUSOK HOLLANDIÁBAN

A gátak tervezése és ellenőrzése során a mérnököknek figyelembe kell venniük az összes olyan mechanizmust, amelyek a gátak tönkremenetelét okozzák. A holland gátmérnöki könyvek felsorolják a következő mechanizmusokat:

- A. Meghágás (ami akkor jön létre, ha a töltés korona szintje túlságosan alacsony a vízszinthez képest);
- B. Hullámátcsapás (a hullámok túl magasak vagy túl magas a hullám felfutása);
- C. A vízoldali részű védelme az instabilitás vagy az erózió ellen (ide tartozik a falazott szerkezet vagy a kő feltöltés károsodása);
- D. A korona és/vagy a mentett oldali részű(védelem) eróziója;
- E. Mikro-instabilitás (a gátmagnak talajból történő kimosódása a gát alatt), amit tranziens jelenségként tartanak számon Magyarországon;
- F. Buzgárképződés (erózió a gát alatt/mögött);
- G. Hidraulikus talajtörés (egy belső megfolyósodott homokréteg felemelése vertikális talajvízáramlás hatására);
- H. Felszakadás (a polder felső agyagrétegére ható magas pórúsvíz nyomás kialakulása egy mélyebben lévő homok rétegből);
- I. A partvonal megfolyósodása (laza homokréteg a gát előtt instabillá válik földrengés hatására);
- J. A vízoldali részű suvadása (a vízoldali részű makro instabilitása);
- K. A mentett oldali részű suvadása (a mentett oldali részű makro instabilitása);
- L. Vízszintes csúszás (a teljes töltés oldal irányú elnyomása a víznyomás hatására);
- M. Jégzajlás (mind a jégdugó okozta vízterhelés, mind a közvetlen jégterhelés az áramláson vagy a szél hatásán keresztül);
- N. Külső tényezők (emberi: lyukasztás, bombázás, hajó ütközés, állati: férgek, patkányok).

KÜLSŐ TÉNYEZŐK

A gátak csak kis hányada szakadt át olyan külső erők miatt, amik embernek, vagy állatoknak tulajdoníthatók. Az emberi cselekedetek közé tartozik például a gát átvágása, bombázás

(háború esetén), hajó ütközés vagy szivárgó vízvezetékek. Számos gátat szándékosan átszakítottak stratégiai okokból, különösen a 80 éves háború (1568-1648) és a második világháború idején (ld. később).

Az állati aktivitás magába foglalja például a patkányok vagy a rovarok alagútvágását és a fűrő állatok tevékenységét. Ezzel kapcsolatban mindenképpen szót kell ejteni a teredo navalis, a hajóféreg tevékenységéről. Hagyományosan a tengeri gátakat a vízoldalon pallóssal biztosították az elhabolás ellen. 1730-ban a fát feregjárvány támadta meg és pusztított az egész országban a tengerparton. A hajóféreg tönkretette a fából készült cölöpöket, pallókat. Számos utalás van erre a járványra, mely a nemzetközi kereskedelemmel (VOC, Kelet-Indiai Társaság) került Hollandiába.

Az állati kártevőkkel kapcsolatban volt, amikor azt jelentették, hogy vakond okozott gátszakadást. Amikor vakondtúrás alakú homok krátereket találtak, azok általában az azokban a napokban még ismeretlen buzgáros tönkremeneteli mechanizmust mutatták.

A pézsmapatkányt (pézsmapocok) mintegy 100 évvel ezelőtt egy Colloredo-Mansfeld herceg hozta Európába. Ezek a patkányok 1980-ig nem jelentettek veszélyt Hollandiában, így semmi esetre sem lehetett egy korábbi gátszakadást a jelenlétükhöz kötni. Manapság azonban minden évben jelentős mennyiségű patkányt fognak el (2003-ban például 400 000-et!!!) Hollandiában. Rövid idő alatt egész Európában elterjedtek, furkálódásukkal komoly veszélyt jelentenek a gátakra.

KRITIAI MEGJEGYZÉSEK A GÁTSZAKADÁS STATISZTIKÁHOZ (Van Baars, 2009)

A D, G, H és N mechanizmusok hiányoznak az összesítésekből. A mulasztás mechanizmus, "D. A korona és/vagy a mentett oldali részü(védelem) eróziója" furcsa módon azóta veszélyes, mióta ez volt a leggyakoribb mechanizmus a zeelandi 1953-as árvíz katasztrófa idején.

További hiányzó mechanizmusok: „G. Hidraulikus talajtörés”, "H. Agyagrétegek felszakadása" és "F. Buzgárképződés", azok a mechanizmusok, melyek nagy aggodalomra adhatnak okot az emelkedő tenger vízszint miatt, ami magasabb pórúsvíznyomást eredményez a gátak mögött.

A lista másik gyengesége az, hogy az "N. Külső tényezőknél", csak a "hajó ütközés" lehetősége szerepel, még a patkányok sem. A legutóbbi csatorna-gátszakadást (Stein 2003) egy meg nem vizsgált, a 80-as években épült, a gátat keresztező vízvezeték okozta (Van Baars, 2004).

1998-ban a holland kormány azt javasolta, hogy állítsák össze a gátszakadások teljes listáját, amihez azokat a mechanizmusokat kell alkalmazni, amelyeket gátellenőrzések során is használnak (TAW, 1998). Sajnos ez a lista nem készült el.

2004-ben a kormány egy új lista összeállítását javasolta (VTV, 2004). Ez a lista azonban még mindig kihagyja a H és N mechanizmusokat (még a hajó ütközését is), de ezúttal nem is veszi figyelembe az L és M mechanizmusokat (4. táblázat). Van Baars (2009) szerint a "L, Horizontális csúszás" mechanizmusa 1999 óta a holland kormány számára nem létező, de a Zoetermeer (1947), Oostzaan (1960), Wilnis (2003), Terbregge (2003) és a New Orleans (2005) gátszakadások bizonyították ennek a mechanizmusnak a jogosultságát (Van Baars, 2003). Ugyanakkor a kormány úgy véli, hogy az „M Jégzajlás” mechanizmus már nem fenyeget, ami nem helyes megállapítás. Annak ellenére, hogy a folyóvíz hőmérséklete nőtt az évek során és a jégzajlások száma is csökkent, a nulla valószínűség még nem bizonyított. Emellett a folyó hőmérsékletétől eltérően az Északi-tenger és az IJssel-tó vízhőmérséklete nem emelkedett.

Végleges megjegyzést lehet tenni az "A. Meghágás" és "B. Hullámátcsapás" előfordulásával kapcsolatban. Bár ezek a mechanizmusok megtalálhatók a gátszakadás mechanizmusok minden listájában, valójában nem mechanizmusok, hanem a gátszakadás okai. Mindkét ok olyan mechanizmushoz vezet, mint például "D. A mentett oldali rézsűvédelem és a korona eróziója". (Van Baars, 2003)

Azért, hogy a gátszakadásokról kielégítő mennyiségű információ legyen az árvízi kockázatelemzéshez, a gátszakadások mechanizmusainak előfordulását ismerni kell. Azonban ezt nehéz meghatározni Hollandiában. Elsőként értékelhető a múltbeli gátszakadások mechanizmusa az összes gátszakadás függvényében, melyet a 4. táblázat tartalmaz.

A 4. táblázat azt mutatja, hogy az összes átszakadt gát kétharmada a mentett oldali rézsű meredeksége és az itt jelentkező erózió, valamint a korona eróziója miatt ment végbe. Ennek fő okai a meghágás és a hullámátfutás volt, amit könnyen meg lehetett volna akadályozni a nagyobb gátak építésével. Erősebb korona és a rézsű védelme sok gátszakadást is megakadályozhatott volna. A 176. táblázatban lévő érték megfelel a hazai felmérésnél alkalmazott történelmi tönkremeneteli mechanizmusok közül a „meghágásnak”. A hazai megfelelő érték 77,5 % az ismert tönkremeneteli mechanizmusok esetén. A második számú mechanizmus a jégzajlás 11 %-al. Ez magasabb vízszintet és a korona károsodását okozhatja. Így meghágáshoz, majd a mentett oldali rézsű vagy a korona elmosásához vezethet. Az összes többi mechanizmus kevésbé fontosnak tűnik, de be kell látni, hogy a múltban nehéz lett volna ezeket felismerni, vagy akár csak tisztában lettek volna ezekkel a mechanizmusokkal.

4. táblázat Gátszakadási mechanizmusok Hollandiában 1134 és 2006 között

Mechanizmus	Megoszlás
Mentett oldali rézsű és korona (védelem) eróziója	67 %
Jégzajlás	11 %
Erózió vagy a vízoldali rézsű instabilitása	6 %
Mentett oldali rézsű suvadása	5 %
Külső befolyás (emberi és állati)	4 %
Mentett oldali rézsű suvadása	3 %
A part földrengés hatására történő megfolyósodása	2 %
Buzgár	1 %
Micro instabilitás	0,5 %
Vízszintes elnyíródás	0,5 %
Felszakadás	0,0 %
Hidraulikus talajtörés	0,0 %
Összesen	1735 db

Egyes mechanizmusokat felismerni is nehéz lett volna korábbi évszázadokban. Például:

- a rézsűállékonyság nem megfelelőségét gyakran az agyagréteg víztartalom növekedése által kiváltott nyírószilárdság csökkenés váltja ki,
- egy tengeri vihar során a magas vízszint gyakran nem tekinthető önálló gátszakadás mechanizmusnak, hanem inkább kiváltó oknak,
- az instabil, lazán tömörödött homokrétegek a gát közelében is inkább okként jelentkeznek, mint mechanizmusként, az ehhez tartozó mechanizmus a buzgárosodás, a hidraulikus talajtörés, liquefaction, belső erózió és a felszakadás lehet,
- Van Baars (2009) szerint manapság a buzgárosodás, a hidraulikus talajtörés és az agyag réteg felszakadása a legveszélyesebb mechanizmusoknak tekintetők. Először is, mert a gátak sokkal magasabbak, mint a múltban, ami csökkenti a meghágás és ezáltal a mentett oldali lefolyás és erózió valószínűségét így a meghágás előtt már más mechanizmusok előfordulhatnak. Másodsor pedig, mivel a tengervízszint emelkedik, ugyanakkor a földterület terepszintje pedig csökken, ezáltal növelve a valószínűségét a buzgárnak, a hidraulikus talajtörésnek vagy a megfolyósodásnak, vagyis a magasabb pórusnyomásnak a

gát közelében. Hasonló megállapítás olvasható a hazai árvízvédelmi gátakkal kapcsolatban (Nagy 2001), mely szerint: A terhelések növekedésével várhatóan nő a buzgárok, és suvadások száma. Ugyanakkor a gátmagasítás csökkenti a meghágások valószínűségét.

Az adatokból egy másik megállapítás is levonható, ami a táblázatban nem látható. A legtöbb gátszakadás nem magányos esemény volt. A feljegyzett események 58 %-a olyan katasztrófa volt, amelyet számos gátszakadás okozott, a folyó vagy part teljes hosszán több helyen is volt gátszakadás. Különösen a súlyos katasztrófák, például a Zeelandi árvíz 1953-as katasztrófája (de ugyanígy a Katrina hurrikán által 2005-ben New Orleans-ben bekövetkezett katasztrófa) számos független hiba kombinációjára és párhuzamosságára vezethető vissza.

ÁRVÍZ, MINT A KATONAI STRATÉGIA RÉSZE

Bizonyos területek elárasztásával katonai védelmi vonalat lehet létrehozni. Az előrenyomuló ellenséges hadsereg esetén a területet mintegy 30 cm-es vízzel áztatta el, ami túl sekély a hajók számára, de elég mély ahhoz, hogy nehezebbé tegye a lábát, elrejtve a víz alatti akadályokat, csatornákat árkokként és célrakész csapdákként. A gátak, melyek keresztelték az elárasztott területet védtek a stratégiai pontokat és az erődítményeket.

A hollandok a nyolcvanéves szabadságharc elején a spanyol invázió idején felismerték, hogy az alacsony fekvésű területeken az árvizek kiváló védelmet nyújtanak az ellenséges csapatok ellen. Ezt bizonyították például a Leiden-i ostrom idején 1574-ben. A háború második felében, amikor a tartományt felszabadították a spanyol csapatoktól, hogy megvédjék az elárasztott területet, annak szélén Nassau Maurice tervezett egy erődítmény rendszert, amelyik a Zuiderzee-től (jelenlegi IJsselmeer) a Waal folyóig futott.

1629-ben Frederick Henry herceg elindította a Vízvonal-terv végrehajtását. Bevágásokat építettek gátakon és erődökkel megerősítették a városokat, a stratégiai pontokon új földvárakat alakítottak ki. A vízszintet az elárasztott területeken óvatosan tartották olyan mélységűre, hogy az ellenség eléggé bizonytalanul haladhasson előre, és eléggé sekélynek ahhoz, hogy kizárja a hajók hatékony használatát (kivéve a holland védők által használt lapos fenekű csónakokat). A vízszint alatt további akadályokat, úgymint árkokat, farkaslyukakat (és sokkal később a szögesdrótot és a földbányákat) rejtettek el. A gátak mellett lévő fasorok is hozzájárultak a védelemhez, kivágásukkal háború idején mesterséges akadállyá voltak átalakíthatók. Télen a vízszintet manipulálni lehetett, hogy gyengítse a jégtakarást, miközben a jég maga is felhasználható volt az ellenállásra.

A Holland Vízvonal (Hollandic Water Line) rendszer sikeresnek bizonyult 1672-ben a harmadik angol-holland háború alatt, ellenben 1795-ben az erős fagy hatására a víz és a talaj megfagyott, így a forradalmi francia sereg menetelhetett Hollandia elfoglalására. Az idők folyamán több vízvonalat is kialakítottak, de a nehéztüzérség, különösen a repülőgépek megjelenése nagymértékben elavulttá tette ezt a stratégiát.

Napóleon végső veresége, a Waterloo-i csata után 1815-ben megalakult a Holland Királyság. Nem sokkal ezután I. Vilmos király elhatározta, hogy modernizálja a Vízvonalat. Egyrészt áthelyezték Utrechtől keletre, így ez a város is a védelmi vonalon belülre került, másrészt új védelmi vonalat hoztak létre más irányokba. A Vízvonalat 1870-ben a francia-porosz háború alatt egyszer sem támadták meg, és az I. világháborúban sem. A második világháború alatt a német megszálló hadsereg és 1944-ben a felszabadító szövetséges erők katonai stratégiájuk részeként használták az elárasztást. Ekkor állapították meg, hogy a vízvonal mind támadó, mind védelmi feladatok ellátására is alkalmas. (de Kraker 2015)

A Vízvonal Múzeum (Waterline Museum) elmondja a történetét annak, hogyan alkalmazták az elárasztást Hollandia védelmére 1588 and 1944 között. A vizet, mint fegyvert egy 50 méter

hosszú model szemlélteti. Az Új Vízvonalat maketten működés közben szemléltetik, a látogató működteti az elárasztást és a víz kiszivattyúzását a polderből.

ESŐZÉSEK ÉS SZÁRAZSÁG

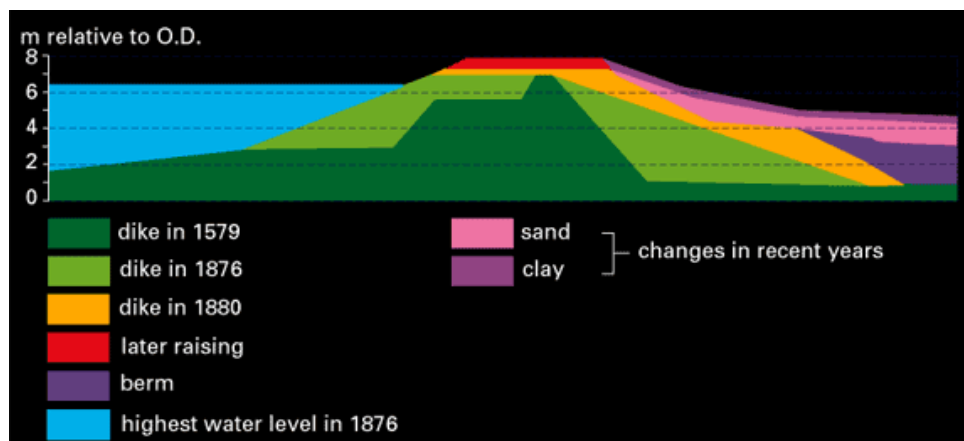
A nagy esőzés és az aszály szintén okozhat gátszakadást, mint a rézsű instabilitásának következménye. A nagy esőzések után bekövetkező gátszakadás elsősorban a gátak átázásának, az agyag lágyulásának köszönhető. Az aszály idején bekövetkező gátszakadás pedig elsősorban (főleg tőzezből, vagy tőzegre épült gát) a gát tömegének csökkenéséből ered. Ezekről a különös gátszakadásokról a hazai szakembereknek beszámoltunk (Nagy, Takács 2010).

GÁTBIZTONSÁG

Hollandia 60 %-a van az árvízszint alatt, ezen a területen termelik a GDP 70 %-át. A biztonság érdekében minden öt évben felülvizsgálják a fenntartást, a művek állapotára vonatkozó szabályokat, a tervezési előírásokat és a 20 éves középtávú tervet. Ugyanakkor azt tervezik, hogy a kockázatszámítást felhasználva 25 évente újraértékelik az körgátak veszélyeztetettségét.

Az árvízi biztonságot jelenleg is a gátak méretei és magassága biztosítja. A gátak fejlődése hasonló a hazai gátaknál is kialakult ún. „hagyma keresztmetszethez” (3. ábra). Hollandiában az árvízi biztonság megfogalmazása jelenleg a legmodernebb Európában.

A legsűrűbben lakott, legnagyobb gazdasági potenciállal rendelkező öblözeteknél a 10000 éves visszatérési időt veszik alapul mind a folyami, mind a tengeri árvizekkel szembeni védelemnél. A 10000 év nagyon hosszú idő, sok bizonytalanságot hordoz. Figyelembe véve azt, hogy a tengervízszint emelkedésben várható értéket ötven évre is csak jelentős bizonytalansággal tudják becsülni, a 10000 éves visszatérési idő inkább szimbolikus jelentőségű, és azt fejezi ki, hogy valóban van differenciálás a védett területek között. De bizonyos szempontból pozitív, hogy felvállalták a differenciálást (4. ábra).



3. ábra A Lek (Hollandia) gát fejlődése

A gátszakadások jelentette veszély alapján a holland körgátakra részletes kockázatelemzés készült, ennek egyik eredménye a differenciált védelmi szintek megállapítása volt. A körgátak elönthetősége alapján a biztonságot négy kategóriába osztották a visszatérési idő alapján. A legkisebb védelmi szint az 1250 éves visszatérési időnek felel meg, a legnagyobb pedig 10000

évesnek. Ezen öblözetek elhelyezkedését az 4. ábra mutatja (TAW 2000). A gátak magasságát ezen árvízszintekhez igazították.



4. ábra Differenciált védelmi szintek Hollandiában

KÖVETKEZTETÉSEK

Kétségtelen, hogy Hollandiában az árvizek dokumentáltsága egyedüli a földön, például a gátszakadásoknak az 1134-es évig történő összegyűjtésével (13. kép). A sok évszázados kudarc után a vízgazdálkodási munkák a társadalom gazdasági támaszát adják. A sík területen a folyók legalsó szakaszán az árvízvédelmi munkák társadalmi támogatottsága magas és megkérdőjelezhetetlen. A kockázatszámításhoz fontos a tönkremeneteli mechanizmusok statisztikájának megismerése. Ez, ha elkészül fontos bemenő paramétere lesz a tönkremeneteli valószínűségek becsléséhez.

Hollandia árvíztörténetéből és a gátszakadások szerteágazó ismeretéből csak egy szűk metszetet tartalmaz ez a cikk, mely Holland tartományok és a Zeeland szigetvilág 1735 gátszakadásának okait és mechanizmusait vizsgálja 1134 óta. Ezeknek a gátszakadásoknak a feljegyzései azt mutatják, hogy az Északi-tenger viharai a múltban a nagyobbak voltak, és ezek jelentették a gátszakadások általános okát, amelyet számban a folyami nagy víz és/vagy vele együtt járó jégzajlás követett. Az évek során a jégzajlás okozta veszély csökkent, mivel a folyó víz hőmérséklete nőtt. A bemutatott történelmi események 58 %-nál a katasztrófa több okra volt visszavezethető.

A feljegyzések is azt mutatják, hogy az összes gátszakadások kétharmada meghágás volt, amihez részben hozzájárult a mentett oldali rézű meredeksége és eróziója a korona eróziójával párosultan. A második számú mechanizmus a jégzajlás okozta szakadások.

Minden más mechanizmus kisebb fontosságú, kisebb gyakoriságú volt. A bonyolultabb mechanizmusokat a múltban nehéz volt felismerni, ezért ritkán jegyezték fel.

Úgy becsülhető, hogy az elmúlt ezer évben több 1000000 ember fulladt bele az Északi-tenger partmenti területét érő árhullám valamelyikébe. Bár az utolsó nagy árvíz, 1953-ban meglehetősen kicsi volt, a 140 gátszakadás és az abból eredő 1836 fő veszteség, azt indukálta a hollandok számára, hogy sokkal biztonságosabb árvízvédelmi rendszert kellett létrehozniuk. Ebben a hatalmas munkában sokat haladtak előre azonban sajnos, 2006-ban a tenger- és a folyógátak csak 44 %-a elégítette ki a holland gátelőírásokat.

A szakmai megközelítéseknél jelenleg még nem foglalkozunk két vagy több tönkremeneteli mechanizmus egyidejűségével, illetve azok egymást erősítő hatásával. Például egy elhabolt töltés vízdoldali rézsűjénél lerövidül a szivárgási úthossz, megnő a hidraulikus gradiens, könnyebben jön létre talajtörés, vagy mentett oldali rézsúcsúszás. A vizsgálatoknál a tönkremeneteli mechanizmusokat egymástól függetlennek vesszük. További kutatásokra, ismeretre van szükség ahhoz, hogy az egyidejűség és egymásutánosság modellezhető és számszerűsíthető legyen.



13. kép A Grebbendijk szakadása (Johan Veltens festménye)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- Babb, A.O. and Mermel, T.W. (1968). Catalog of Dam Disaster, Failures and Accidents. Bureau of Reclamation, Washington, DC.
- Buisman, J. (1995, 1996, 1998, 2006a, 2006b). Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen, Deel 1, 2, 3, 4 en 5 (Thousand year weather, wind and water in the Low Lands - Netherlands, part 1, 2, 3, 4 and 5), Van Wijnen, The Netherlands, ISBN 905194-075-0, -141-2, -142-0, -143-2 and -190-6.
- de Kraker A.M.J. (2015). Flooding in river mouths: human caused or natural events? Five centuries of flooding events in the SW Netherlands, 1500–2000, VU-University, CLUE (Research Institute for the Heritage and History of the Cultural Landscape and Urban Environment), Amsterdam, the Netherlands.
- Fukunari, K. (2008). The Tone River Case and others. Safety of River Levee in Japan Conference, Power Point presentation, Tokyo, Japan 2008. November.
- Gottschalk, M.K.E. (1971, 1975, 1977). Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland, Deel I, II en III (Storm surges and river floods in the Netherlands, part I, II and III), Van Gorcum, Assen, The Netherlands, ISBN 90-232-0717-3, -1193-6 and -1491-9.

- Gruner, E. (1967). The mechanism of dam failure, Proc. 9th Congress, Int. Commission on Large Dams, Istanbul, 1967, Question 34, Rep. 12, pp. 197-205.
- ICOLD (1974, 1981). Lessons from Dam Incidents. ICOLD Bulletin.
- ICOLD (1984). Deterioration of dams and reservoirs. ICOLD Bulletin.
- Krol, P. (1983). Analiza waniejszyn awarii walów preciwpowodziowych w Polsce Gosp. Wodna, Vol. 43, pp. 135-139,
- Middlebrooks, T.A. (1953). Eath-dam Practice in the United States. Transactions of the ASCE.
- Nagy L. (2000). Módszerek árvízvédelmi gátak tönkremeneteli valószínűségének meghatározására. Vízügyi Közlemények, LXXXII. évf., 2. füzet, pp. 220-231, ISSN 0042-7616.
- Nagy, L. (2001). Árvízvédelmi gátak szakadásai. Szakadások statisztikai feldolgozása, VA kutatási jelentés.
- Nagy, L. (2007). Az 1876. évi árvizek. Fejezetek a vízügy múltjából c. sorozat 11. kötete, A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium kiadványa, Innova-Print Kft. nyomda, ISBN 978-963-87073-5-2.
- Nagy L. (2011). Árvízvédelmi gátak történelmi tönkremeneteli mechanizmusa, Hidrológiai Közlöny, 91. évfolyam, 1. szám, pp. 21-26. ISSN 0018-1323.
- Nagy L. (2011). Zagygátszakadás statisztika, XXIX. MHT Vándorgyűlés, Eger, július 6-8, 8. szekció, 8. cikk, ISBN 978-963-8172-28-0.
- Nagy L. (2012). Történelmi zagygátszakadások, Hidrológiai Közlöny, 92. évfolyam, 2. szám, pp. 70-72. ISSN 0018-1323.
- Nagy, L. (2017). Gátszakadások a Kárpát-medencében, Gátszakadások kialakulásának körülményei, OVF, p. 412, ISBN 978-5825-00-2.
- Nagy L. (2018). Árvízvédelem rövid története Hollandiában. Vízügyi közlemények, Megjelenés alatt
- Nagy L., Takács A. (2010). Holland gátszakadás magyar tanulságai, XXVIII. MHT Vándorgyűlés, Sopron, 3. szekció, 19. cikk, ISBN 978-963-8172-25-9.
- Netherland Hydrological Society NHV (2004). Water in the Netherlands, managing checks and balances, DrukZaken Rotterdam, ISBN 90-803565-6-5.
- Peters G. (2015). The Netherlands' Water Policy & Program Implementation: Issues & Challenges, Royal Haskoning DHV.
- Rosema, W. (2002). Watersnood en storm in Nederland 1500-2000 (Flooding and storm in The Netherlands 1500-2000), <http://home.zonnet.nl/rampenpublicaties/watersnood%20op%20jaar.htm>.
- Sametz, L. (1981). Beitrag zur Frage der Flutwellenbildung bei progressiven Dammbrochen infolge von Überströmung - Dissertation an der Technischen Universität Graz.
- Sundberg, A. (2015). Molluscan Explosion: The Dutch Shipworm Epidemic of the 1730s." Environment & Society Portal, Arcadia (2015), no. 14. Rachel Carson Center for Environment and Society. doi.org/10.5282/rcc/7307 (link is external). ISSN 2199-3408, Environment & Society Portal, Arcadia.
- Takase (1967). Statistic Study on Failure, Damage and Deterioration of Earth Dams in Japan. 9th ICOLD Congress, Q34, and R1:1-19, Istanbul, Turkey.
- Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW) (1998). Grondslagen voor waterkeringen (Foundation rules for water defence systems), Balkema, Amsterdam
- TAW (2000). Towards a new safety approach. A calculation method for probabilities of flooding. Delft, the Netherlands.
- Toebosch T. (2016). Door de paalworm glooit de dijk. <https://www.nrc.nl/nieuws/2016/07/31/door-de-paalworm-glooit-de-dijk-3323159-a1514105>
- USCOLD (1975): Lessons from Large Dams, Report of the Committee on Failures and Accidents to Large Dams of USCOLD, published by American Society of Civil Engineers, New York.
- Van Baars, S. (2004). Peat dike failure in the Netherlands, European Water Management Online, European Water Association (EWA), Hennef, Germany.
- Van Baars, S., and Van Kempen, I.M. (2009). The Causes and Mechanisms of Historical Dike Failures in the Netherlands. E-Water, Official Publication of the European Water Association (EWA), ISSN 1994-8549.
- van der Ham, G. (1990). Zeeland, 1940-1945, Waanders, Zwolle.
- van der Ham, W. (2004). Afleiden of opruimen, De strijd om de beste aanpak tegen het rivierbederf een beschouwing van 300 jaar rivierverbetering in het kader van de spankrachtstudie, Rijkswaterstaat RIZA, Dr Willem van der Ham.

VTV (2004). Voorschriften Toetsen op Veiligheid voor primaire waterkeringen (Regulations for safety inspections of primary water defence systems) Dutch Ministry of Public Works.

Wessels, H.R.A., Brandsma, T., Buishand, T.A., Klein Tank, A.M.G. and Können, G.P. (1999). De toestand van het klimaat in Nederland (The state of the climate in the Netherlands).