

XXV. KGYTK

2026

Víz alatti város: Élet a klímaváltozás után

Készítette: Csatlós Milán, 8/a osztályos tanuló

Iskola neve: Orosházi Református Két Tanítási Nyelvű Általános Iskola

Iskola postacíme: 5900 Orosháza, Előd utca 17.

Konzulens tanár neve: Dr. Túri Sándorné

Konzulens tanár e-mail címe: kincses-viki@freemail.hu

A pályamunka kategóriája: Ismeretterjesztő

A pályamunka szekciója: Természettudomány

Tartalom

BEVEZETÉS.....	3
1. A TERV SZÜKSÉGESSÉGE.....	4
2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TUDOMÁNYOS HÁTTERE	4
2.1. A FÖLD ÉGHAJLATÁNAK TERMÉSZETES CIKLUSAI	5
2.2. AZ ÜVEGHÁZHATÁS	5
2.3. A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS BIZONYÍTÉKAI.....	6
2.4. A TENGERSZINT-EMELKEDÉS OKAI.....	9
2.5. MIÉRT JELENT MINDEZ PROBLÉMÁT?	10
3. A TENGERSZINT-EMELKEDÉS HATÁSAI.....	11
3.1 PART MENTI VÁROSOK VESZÉLYEZTETETTSÉGE	11
3.2 MIGRÁCIÓS PROBLÉMÁK	11
3.3 GAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEK	12
3.4 ÖKOSZISZTÉMÁK VÁLTOZÁSA	12
4. A VÍZ ALATTI VÁROS KONCEPCIÓJA	14
5. GAZDASÁGI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG.....	19
6. KÖRNYEZETI HATÁSOK	21
7. NEMZETKÖZI KITEKINTÉS, ALTERNATÍV MEGOLDÁSOK	23
8. ÖSSZEFOGLALÁS	29
FELHASZNÁLT IRODALOM	30

BEVEZETÉS

*„Az óceán és a természet meg tud élni nélkülünk,
de az emberiség nem tud élni a természet nélkül.”*

(Gloria Fluxà Thienemann)

Először akkor találkoztam a modern víz alatti civilizációk fogalmával, amikor egy klímaváltozásról szóló cikkben olvastam róla. A téma már az első néhány mondat után felkeltette az érdeklődésemet, mert rájöttem, hogy a tengerszint emelkedése nem egy távoli probléma, hanem már napjainkban is valós veszélyt jelent a vízparti települések számára. Olyan híres nagyvárosok, mint Miami, Jakarta vagy Velence már most is küzdenek az emelkedő vízszinttel és az egyre gyakoribb áradásokkal.

Úgy gondolom, hogy a víz alatti városok ötlete egyszerre tűnik különlegesnek és ijesztőnek. Első hallásra inkább egy tudományos-fantasztikus filmbe illik, mégis egyre több mérnök és kutató foglalkozik vele komolyan. Felmerül a kérdés: vajon eljuthatunk odáig, hogy az emberek a tenger alatt éljenek? Vagy ez csak egy kétségbeesett próbálkozás lenne a klímaváltozás következményeinek kezelésére?

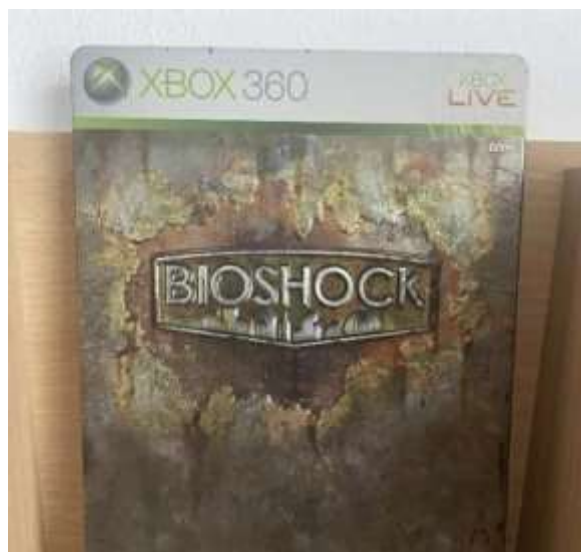
Dolgozatomban arra kerestem a választ, hogy a víz alatti városok valóban reális jövőképet jelentenek-e, vagy inkább utópisztikus¹ elképzelések maradnak. Megvizsgáltam a klímaváltozás tudományos hátterét, a tengerszint-emelkedés okait és következményeit, valamint azt, hogy műszakilag és gazdaságilag megvalósítható-e egy ilyen nagyszabású projekt. Fontosnak tartottam azt is, hogy ne csak az előnyöket, hanem a kockázatokat és etikai kérdéseket is bemutassam.

A víz alatti városok gondolata nemcsak a tudományban, hanem a tudományos-fantasztikus kultúrában is gyakran megjelenik, legyen szó filmekről, videojátékokról vagy irodalmi művekről. Jó példa erre személyes kedvencem, a *BioShock* videójáték-sorozat, amely egy víz alatti metropolisz világát mutatja be és úgy gondolom, nagyban hozzájárult ahhoz, hogy érdeklődni kezdjek a víz alatti városok gondolata iránt.

Ez a kérdéskör azért is különösen fontos számomra, mert a klímaváltozás a mi generációnk jövőjét fogja leginkább befolyásolni. Ezért döntöttem úgy, hogy a dolgozatomat ennek a témának szentelem. Úgy érzem, felelősségünk megérteni a problémát, és átgondolni a

¹ Olyan elképzelésre, tervre vagy eszményi állapotra utal, amely tökéletessége ellenére a jelenlegi körülmények között megvalósíthatatlan, irreális vagy túlzottan optimista.

lehetséges megoldásokat. A dolgozatom célja tehát a víz alatti városok szükségességének, megvalósíthatóságának és várható következményeinek vizsgálata.



BioShock 1 gyűjtői kiadás XBOX 360-ra²

1. A TERV SZÜKSÉGESSÉGE

Az emberiség számára egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy a jövő felé haladva világunkat számos, globális³ léptékű veszély fenyegeti. Ide tartozik az éghajlatváltozás felgyorsulása, a természeti katasztrófák gyakoribbá válása, a népesség robbanásszerű növekedése, valamint a környezetvédelem súlyos hiányosságai. Mindezek mellett a tengerszint folyamatos emelkedése különösen nagy kockázatot jelent a szigetországok és a tengerparti nagyvárosok számára.

A mélytengeri létesítmények ötlete részben választ adhat ezekre a kihívásokra. Ezek a kupolaszerű, víz alatti építmények lehetőséget kínálnának arra, hogy a veszélyeztetett területek lakosságát ideiglenesen, vagy akár tartósan is biztonságos környezetben helyezték el, így mérsékelve a tengerszint-emelkedésből fakadó károkat.

2. AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TUDOMÁNYOS HÁTTERE

Ahhoz, hogy megértsük, miért merült fel egyáltalán a víz alatti városok ötlete, először tisztázni kell, mi okozza a klímaváltozást. Ebben a fejezetben a Föld éghajlatának természetes ciklusait, az üvegházhatás mechanizmusát, a globális felmelegedés bizonyítékait, a tengerszint-emelkedés méréseit, valamint a műholdas megfigyeléseket mutatom be.

² saját fotó

³ Világméretű; a latin *globus* (földgolyó) szóból.

2.1. A FÖLD ÉGHAJLATÁNAK TERMÉSZETES CIKLUSAI

A Föld éghajlata soha nem volt állandó, természetes ciklusokat követett, hideg és melegebb periódusok váltakoztak. Ezek a visszatérő változások természetes folyamatok eredményei, amelyek több millió éves időskálán zajlanak.

Az elmúlt mintegy 2,6 millió év során különösen jól megfigyelhető a hideg és a melegebb időszakok váltakozása. A lehűlések idején hatalmas jégtakarók borították Észak-Amerika és Európa jelentős részét, míg a melegebb korszakokban a jég visszahúzódott, és a tengerszint megemelkedett.

Ezeket a természetes ciklusokat elsősorban a Föld Nap körüli mozgásának és tengelyferdeségének lassú változásai, a vulkáni működés, valamint a légkör összetételének hosszú távú ingadozásai befolyásolták. A klíma tehát mindig is változott – azonban a változások üteme és oka korszakonként eltérő volt.

Bár a múltbeli változások is jelentősek voltak, a jelenlegi globális felmelegedés soha nem látott mértékű, rendkívül gyors, és minden kontinensre és óceánra kiterjedő jelenség. A Föld éghajlata természetes ciklusokat követett, hideg és melegebb periódusok váltakoztak. Ezek azonban több ezer vagy akár több tízezer éves ütemben zajlottak, míg a mostani globális felmelegedés tempója rendkívül gyors: mindössze néhány évtized alatt jelentős hőmérséklet-emelkedést tapasztalunk. A hőmérséklet az elmúlt évszázadokban gyorsabban nőtt, mint bármikor a földtörténetben, és a légkör szén-dioxid-szintje is az elmúlt több millió év legmagasabb értékére emelkedett. A jelenlegi rendkívüli gyorsaság és kiterjedtség egyedivé teszi a mostani helyzetet, és rávilágít arra, hogy a felmelegedés legfőbb oka az emberi hatás.

2.2. AZ ÜVEGHÁZHATÁS

A Föld légkörében természetes módon is vannak úgynevezett üvegházhatású gázok, például a szén-dioxid, a metán és a dinitrogén-oxid. Ezek a gázok képesek visszatartani a hőt, így biztosítják, hogy bolygónk élhető hőmérsékletű legyen. A probléma akkor kezdődött, amikor az ipari forradalom óta az emberiség életmódja – főként a fosszilis⁴ tüzelőanyagok égetése és az erdőirtás – jelentősen megnövelte ezeknek a gázoknak a mennyiségét a légkörben. A több üvegházhatású gáz több hőt tart vissza, ami a Föld átlaghőmérsékletének emelkedéséhez vezet.

⁴ a bányászott, több millió év alatt keletkezett energiahordozókra (szén, kőolaj, földgáz) utal

A klímaváltozással foglalkozó nemzetközi tudományos testület, az IPCC⁵ jelentései egyértelműen kimondják, hogy a jelenlegi felmelegedés fő oka az emberi tevékenység. A kutatók több ezer tudományos vizsgálat eredményeit összesítve jutottak erre a következtetésre.

2.3. A GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS BIZONYÍTÉKAI

A globális felmelegedés nem csak elmélet, hanem sajnos mérhető tény. A Föld átlaghőmérséklete az elmúlt több mint száz évben körülbelül 1,2 Celsius-fokkal emelkedett. Ez elsőre nem tűnik soknak, de globális átlagról van szó, ami hatalmas változásnak számít.



A hőmérséklet ingadozása az elmúlt 140 ezer évben⁶

A felmelegedés egyik legfontosabb következménye a jég olvadása.

1. Antarktis

Az Antarktis, vagy Déli-sarkvidék a Föld legdélebbi, a 60. szélességi foktól délre eső, jéggel borított kontinense és a környező szigetek, óceánok összessége. Ez a világunk legszélsőségesebb, legszárazabb, legszelesebb és leghidegebb földrésze.

A kontinens 98-99%-a jéggel fedett. Az Antarktist gyakran a Föld „hűtőkamrájaként” emlegetik, mivel egész évben rendkívül alacsony, télen –40 és –70 Celsius-fok közötti, nyáron –15 és –35 Celsius-fok közötti hőmérséklet jellemzi.

A kontinentális, vagyis szárazföldi jég mintegy 13,3 millió négyzetkilométert fed le, ami jelentősen meghaladja az északi-sarkvidék átlagosan körülbelül 6 millió négyzetkilométeres jégkiterjedését. A déli kontinensen található a bolygó jégkészletének mintegy 90 százaléka, valamint a Föld édesvízkészletének mintegy 70 százaléka is. A globális felmelegedés következtében napjainkban az Antarktis felett, nagy magasságban mért levegőhőmérséklet gyorsabban emelkedik, mint a Föld bármely más térségében. Ennek hatására Kelet-Antarktis

⁵ Éghajlat-változási Kormányközi Testület

⁶ <https://fna.hu/vilagfigyelo/eghajlatvaltozas>

jégtömege folyamatosan csökken, és a gleccserek mintegy 85 százaléka a korábbinál gyorsabban áramlik a tenger irányába.



Hatalmas folyamokban olvad az antarktisi jég⁷

2. Arktisz

Az Antarktisz gyors olvadása sok figyelmet kap, de közben az Északi-sarkvidék, azaz az Arktisz állapota is legalább ennyire aggasztó. A friss adatok alapján az arktiszi jég továbbra is gyors ütemben fogy, bár a folyamat jellege eltér az Antarktiszétól, mivel északon nem kontinens van, hanem tengeri jég úszik a vízen. Az Északi-sarkvidéken az ESA műholdas adatai szerint 2011–2025 között a márciusi (téli maximum) jégvastagság is jelentősen csökkent, a vékonyabb jég pedig könnyebben olvad el nyáron, így a rendszer egyre sérülékenyebb.

Az Arktisz – az Antarktisszal együtt - gyorsabban melegszik, mint a világ többi része. Ezt a jelenséget arktikus amplifikációnak nevezik. A jég olvadásával eltűnik a fehér, fényvisszaverő felszín, és helyét sötét víz veszi át, ami sokkal több hőt nyel el.



Az Északi sarkvidék legnagyobb része a Jeges-tenger területére esik⁸, ahol egyre csökken az őshonos állatok élettere⁹

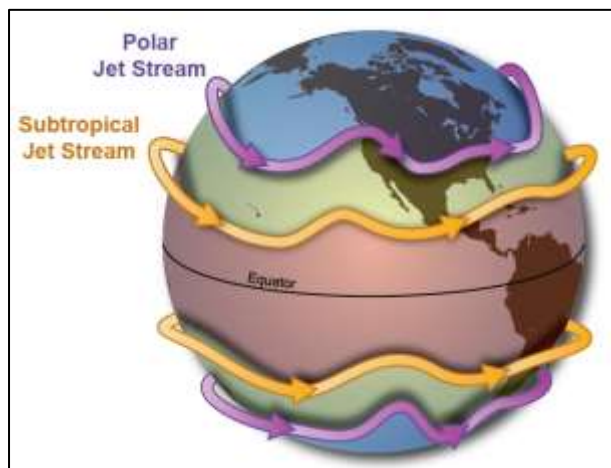
⁷ <https://24.hu/tudomany/2017/04/20/hatalmas-folyamokban-olvad-az-antarktisz/>

⁸ <https://index.hu/tech/tud/2023/06/07/eszaki-sark-jeg-olvadas-klimavaltozas-globalis-felmelegedes/>

⁹ <http://termeszettudomanyok.network.hu/blog/termeszettudomanyok-kor-blogja/visszafordithatatlanul-elvekonyitottuk-az-eszaki-sarkvidek-jeget>

Ez tovább gyorsítja a melegedést. Az Arktisz ugyan nem emeli közvetlenül a tengerszintet, de a jég eltűnése felgyorsítja a felmelegedést, és komoly hatással van az éghajlati rendszerekre, mint például a jet streamre.

3. Jet Stream



A jet streamek keskeny, erős szélsávok a légkör felső rétegeiben, a meleg és hideg levegő határain¹⁰

A jet stream (magyarul futóáramlás) a légkör felső részében található nagyon gyors széláramlás. Ezek a szelek akár 200–300 km/órás sebességgel is haladhatnak, és hatalmas szerepük van az időjárási rendszerek alakításában. A jet stream irányítja a ciklonok és anticiklonok mozgását, vagyis nagyban meghatározza, hogy egy adott térségben milyen időjárás alakul ki és így segít fenntartani a Föld hőmérsékleti egyensúlyát. A sarkvidék gyors melegedése miatt azonban a jet stream gyengül és hullámzóbbá válik, ami szélsőséges időjárási helyzeteket eredményezhet: tartós hóhullámok, elhúzódó esőzések, szokatlan hidegbetörések. A legismertebb a *poláris jet stream*, amely az északi félteke középső szélességei felett húzódik — Európa időjárását is ez befolyásolja.

4. Műholdas megfigyelés

A műholdas mérések kulcsszerepet játszanak ezeknek a folyamatoknak a megfigyelésében. A NASA több évtizede követi nyomon a tengerszint változását speciális műholdak segítségével. Az adatok azt mutatják, hogy a világtengerek szintje folyamatosan emelkedik, és az emelkedés üteme gyorsul. 2024-ig a globális tengerszint-emelkedés körülbelül kétharmadát a szárazföldi jég olvadása, egyharmadát pedig az óceánok felmelegedése okozta. 2024-ben azonban ez az arány megfordult, és a tengerszint-emelkedés kétharmada a hőtágulásból származott. A globális tengerszint ekkor a vártnál gyorsabban emelkedett, főként az óceánvíz melegedéssel járó

¹⁰ <https://www.weforum.org/stories/2022/08/jet-stream-winds-fuelling-heatwaves/>

tágulása, vagyis a hőtágulás miatt. „Minden év egy kicsit más, de az egyértelmű, hogy az óceán szintje folyamatosan emelkedik, és az emelkedés üteme egyre gyorsabb és gyorsabb.”¹¹



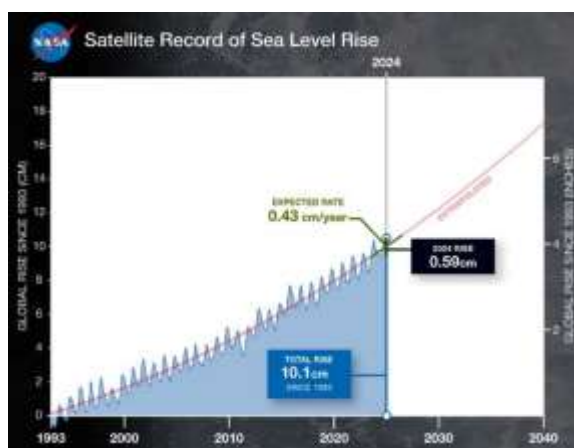
A Sentinel-6A óceánmegfigyelő műhold¹²

Amióta 1993-ban elkezdődött az óceánok magasságának műholdas mérése, az éves tengerszint-emelkedés üteme több mint kétszeresére nőtt. Ha a jég eltűnik, gyorsul a felmelegedés, emelkedik a tengerszint és megváltoznak az óceáni és légköri áramlások.

2.4. A TENGERSZINT-EMELKEDÉS OKAI

A tengerszint emelkedésének két fő oka van. Az egyik a szárazföldi jégtömegek olvadása. Amikor a gleccserek és jégtakarók olvadnak, az így keletkező víz a tengerekbe kerül, növelve azok térfogatát.

A másik ok a hőtágulás. A víz – ahogy a legtöbb anyag – melegedés hatására kitágul. Ezt a folyamatot nevezzük termikus hőtágulásnak. Mivel a világtengerek hőmérséklete is emelkedik, a víz térfogata növekszik, ami szintén hozzájárul a vízszint emelkedéséhez.



A Föld tengerszintjeinek emelkedési grafikonja¹³

¹¹ Josh Willis, a NASA dél-kaliforniai Jet Propulsion Laboratory tengerszint-kutatójának nyilatkozatából

¹² https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=2938

¹³ <https://sealevel.nasa.gov/news/282/nasa-analysis-shows-unexpected-amount-of-sea-level-rise-in-2024/>

Ez a grafikon a globális átlagos tengerszintet (kékkel) mutatja 1993 óta, öt műhold mérései alapján. A folytonos piros vonal a növekedés pályáját jelzi, amely az elmúlt három évtizedben több mint kétszeresére nőtt. A szaggatott piros vonal a jövőbeni tengerszint-emelkedést vetíti előre.

Az európai megfigyelőrendszer, a Copernicus Marine Service¹⁴ adatai szerint az elmúlt évtizedekben a globális átlagos tengerszint több mint 20 centiméterrel nőtt az iparosodás előtti szinthez képest. Bár ez nem tűnik soknak, a part menti területeken már néhány centiméter is gyakoribb áradásokat és komoly károkat okozhat.

2.5. MIÉRT JELENT MINDEZ PROBLÉMÁT?

A világ népességének jelentős része part menti területeken él. A nagy kikötővárosok nem csak fontos közlekedési csomópontok, hanem gazdasági központok és turisztikai célpontok is. Ha ezek a területek rendszeresen víz alá kerülnek, az nem csak lokális, vagyis helyi, hanem globális gazdasági problémákat is okozhat.

A tengerszint-emelkedés hosszú távon akár milliók lakóhelyét is veszélyeztetheti. Egyes becslések szerint a század végére több százmillió ember élhet olyan területen, amelyet rendszeresen elönt a víz. Ez migrációs¹⁵ hullámokat indíthat el, ami újabb társadalmi és politikai problémákhoz vezethet.

Éppen ezért merül fel egyre gyakrabban a kérdés: alkalmazkodjunk a megváltozott körülményekhez, vagy próbáljuk meg mindenáron megvédeni a jelenlegi part menti városokat? A víz alatti városok gondolata ebben az összefüggésben jelenik meg, mint egy lehetséges – bár rendkívül merész – alkalmazkodási stratégia.



New York manhattani városrésze most¹⁶ és ahogyan kinézne 130 cm-es vízszint emelkedés után¹⁷

¹⁴ <https://marine.copernicus.eu/>

¹⁵ az emberek lakóhelyének tartós vagy huzamosabb ideig tartó megváltoztatása

¹⁶ <https://www.erdekesvilag.hu/new-york-madartavlatbol/>

¹⁷ <https://alternativenergia.hu/131-centimeteres-tengerszint-emelkedes-johet/>

3. A TENGERSZINT-EMELKEDÉS HATÁSAI

„A víz az úr. Tisztelni kell, nem legyőzni.”

(Korok Fatima, szabadtüdős mélymerülő)

A tengerszint emelkedése nem csak egy távoli jövőbeli probléma, hanem már ma is mérhető folyamat. Ez a változás komoly következményekkel jár a part menti területeken élő emberekre, a gazdaságra és a természetre is.

3.1 PART MENTI VÁROSOK VESZÉLYEZTETETTSÉGE

A Föld nagyvárosainak jelentős része tengerparton vagy folyótorkolat közelében épült. Ilyen például Sanghaj, New York vagy Tokió. Ezek a városok gazdasági és kulturális központok, ahol emberek milliói élnek.

Az IPCC jelentései szerint a 21. század végére a globális tengerszint akár több tíz centiméterrel, sőt bizonyos feltételezések szerint közel egy méterrel is emelkedhet.

A magasabb alapszint miatt a viharok és hurrikánok idején a víz könnyebben előnti a part menti területeket. Egyes szigetországok, például a Maldív-szigetek, különösen veszélyeztetettek, mivel területük nagy része alig emelkedik a tengerszint fölé. Ha a folyamat folytatódik, egyes városrészek hosszú távon lakhatatlanná válhatnak. Ez hatalmas infrastrukturális¹⁸ károkat is okozhat, például utak, metróhálózatok és ivóvízrendszerek sérülhetnek vagy semmisülhetnek meg.

3.2 MIGRÁCIÓS PROBLÉMÁK

Amikor egy területet rendszeresen előnt a víz, az emberek előbb-utóbb kénytelenek elköltözni. Ezt a jelenséget gyakran „klímamigrációnak” nevezik.

A World Bank¹⁹ elemzései szerint a klímaváltozás – beleértve a tengerszint-emelkedést is – a következő évtizedekben több tízmillió embert kényszeríthet lakóhelye elhagyására. A part menti mezőgazdasági területek sós vízzel való elárasztása például tönkre teheti a termőföldeket, ami megélhetési gondokat okozhat. A tömeges elvándorlás új társadalmi problémákat is felvet. A befogadó területeken nőhet a munkanélküliség, lakhatási válság alakulhat ki, és fokozódhatnak a társadalmi feszültségek.

¹⁸ Az infrastruktúra egy adott szervezet, gazdaság vagy társadalom működéséhez elengedhetetlen fizikai és intézményi létesítmények, valamint hálózatok összessége.

¹⁹ <https://www.worldbank.org/ext/en/home>

3.3 GAZDASÁGI KÖVETKEZMÉNYEK

A part menti régiók a világgazdaság kiemelkedően fontos területei. Itt található a kikötők nagy része, amelyek a nemzetközi kereskedelem alapját jelentik. Ha ezek rendszeresen árvíz alá kerülnek, az egész globális gazdaság megérezheti a hatását. Az áradások jelentős anyagi károkat okoznak az épületekben, közlekedési hálózatokban és ipari létesítményekben. A biztosítási költségek is növekednek; egyes területeken már most is nehezebb biztosítást kötni az ismétlődő természeti károk miatt.

A turizmus is veszélybe kerülhet. Sok üdülőhely tengerparton található, és a partok eróziója²⁰ vagy az állandó áradások csökkenthetik ezek vonzerejét.

3.4 ÖKOSZISZTÉMÁK VÁLTOZÁSA

A tengerszint emelkedése nemcsak az embereket, hanem a part menti élővilágot is veszélyezteti. A mocsarak és mangroveerdők fontos árvízvédelmi szerepet töltenek be, és számos fajnak adnak otthont. Az erózió és szökőár ellen is komoly védelmi zónát jelentenek. Mangroveerdők a trópusi és a szubtrópusi térségekben a tengerpart mentén, az édes- és a sós víz találkozásánál, a folyótorkolatoknál, az árapályzónában alakulnak ki. A mangroveökoszisztémák²¹ a Föld legösszetettebb élőhelyei közé tartoznak, emellett jelentős mennyiségű szén-dioxidot kötnek meg, amelyet „kék karbonnak” nevezünk. Ezek az élőhelyek a globális óceáni szénelnyelés nagy hányadáért felelősek, ráadásul az esőerdőknél 30-szor gyorsabban nyelik el a szén-dioxidot.



A mangroveerdőket több fajjal alkotja, közös jellemzőjük, hogy a fákat sűrű horgonygyökérzet rögzíti²²

²⁰ Az erózió a földfelszín (talaj, kőzet) pusztulása és elszállítása, amelyet elsősorban a víz, a szél vagy a jég végez

²¹ Az ökoszisztéma az élőlények (növények, állatok, mikroorganizmusok) és élettelen környezetük (talaj, víz, levegő) egységet alkotó, kölcsönhatásokon alapuló rendszere.

²² <https://geometodika.hu/mangroveerdok/>

Ha a vízszint túl gyorsan emelkedik, ezek az élőhelyek nem tudnak alkalmazkodni. A sós víz behatolhat az édesvízi területekre, ami megváltoztatja az ott élő növény- és állatfajok összetételét is.

A korallzátonyok a Föld legsokszínűbb ökoszisztémái közé tartoznak, több ezer halfajnak és számos tengeri élőlénynek biztosítanak menedéket és táplálékot. A korallok és a bennük élő algák szimbiotikus²³ kapcsolata hozzájárul az óceáni táplálékláncok működéséhez. A korallzátonyok természetes gátként működnek, amelyek csökkentik a hullámzást, ezáltal mérséklik a trópusi viharok és hurrikánok pusztító hatását, valamint védik a partvidéket a pusztulástól. Mindezek mellett a halászat és a turizmus révén több százmillió ember számára biztosítanak megélhetést és táplálékforrást.



1980 óta a korallzátonyok mennyisége a világ óceánjaiban 30-50 százalékkal csökkent²⁴

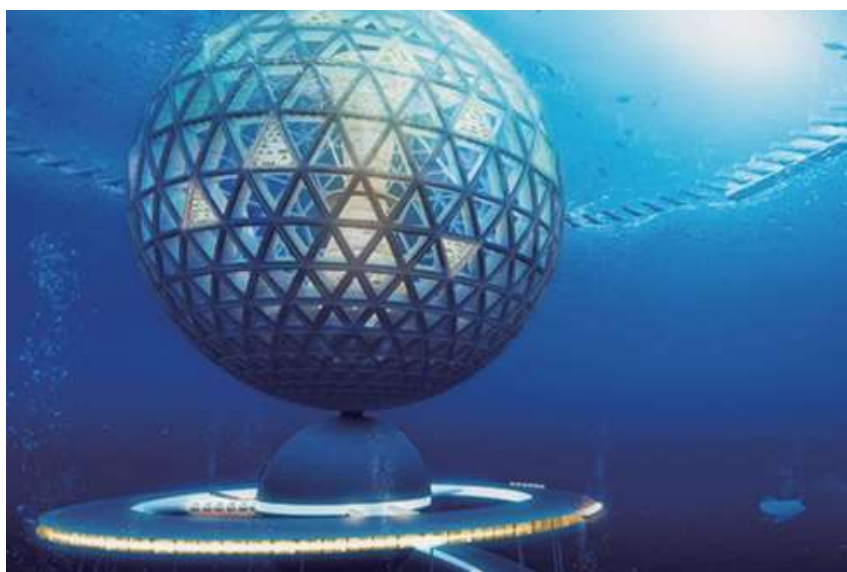
A korallzátonyok helyzete is rendkívül aggasztó. Bár pusztulásuk fő oka az óceánok melegedése és savasodása, a tengerszint változása is befolyásolhatja ökológiai egyensúlyukat. A korallzátonyokat a globális felmelegedés okozta korallfehéredés, a környezetszennyezés és a fenntarthatatlan halászat súlyosan fenyegeti. Florida egyes partszakaszainál a zátonyok 80-90%-a már eltűnt, és a tudósok figyelmeztetése szerint világszinten a zátonyok akár 70-90%-a is elpusztulhat a következő évtizedekben. Az ökoszisztémák átalakulása végül az emberekre is visszahat, hiszen a halászat, a vízminőség és a természetes partvédelem is ezekhez a rendszerekhez kötődnek.

²³ A szimbiózis két vagy több különböző fajú élőlény szoros, tartós és kölcsönösen előnyös kapcsolata. A szimbiontáknak nevezett felek segítik egymás túlélését, táplálkozását vagy védelmét.

²⁴ https://vizpartifejlesztesek.blog.hu/2018/12/22/mentunk_vagy_pusztitunk_mi_lesz_veletek_korallok

4. A VÍZ ALATTI VÁROS KONCEPCIÓJA

A víz alatti városok koncepcióját elsősorban környezetvédelmi és gazdasági megfontolások vezérlik: céljuk, hogy az emberek akkor is biztonságos környezetben élhessenek, ha a part menti területek a jövőben élhetetlenné válnának. Japán különösen érintett ebben a kérdésben, hiszen szigetországgént korlátozott szárazfölddel rendelkezik, és gyakran sújtják természeti katasztrófák. A tengerszint-emelkedésre is rendkívül érzékeny, mivel nagyvárosainak jelentős része – például Tokió, Hirosima és Oszaka – közvetlenül a tengerpart közelében fekszik. Nem véletlen, hogy japán mérnökök és kutatók már régóta vizsgálják, milyen megoldások létezhetnek arra az esetre, ha a szárazföld egy része lakhatatlanná válna.



Az Ocean Spiral tervezett modellje²⁵

1. A japán tervek

Az egyik legismertebb ilyen jövőbeli elképzelés a Shimizu Corporation által bemutatott *Ocean Spiral projekt*, amely egy teljesen újfajta, víz alatti városmodell lehetőségét vázolja fel. A terv megvalósításának egyik központi célja a fenntarthatóság és az önellátás.

A tervek szerint ezek a városok speciális, nyomásálló gömbökben helyezkednének el. Saját oxigénellátással, élelmiszer-termeléssel és energiaforrással működnének. Fontos szerepet kapnának a megújuló energiaforrások, például a tengeri áramlatok és a napenergia. Emellett az épületeknek ellen kellene állniuk a víznyomásnak, a korróziónak és a tengeri élőlények hatásainak is. A terv alapján a város három fő részből állna:

²⁵ <https://impressmagazin.hu/a-japanok-mar-viz-alatti-varosokat-terveznek/>

- Egy gömb alakú lakóegység a vízfelszín közelében, aminek átmérője körülbelül 500 méter lenne, felső része a vízfelszínhez kapcsolódna. Vállalkozói övezetekből, lakásokból, lakott területekből és szállodai szobákból állna és 5000 fő lenne a befogadóképessége.
- A gömb alsó része egy spirál alakú szerkezethez kapcsolódna, amely több kilométer mélyre nyúlna a tengerfenéken a harmadik részhez.
- A tengerfenéken elhelyezkedő állomáson az energia- és nyersanyagtermelés történne.

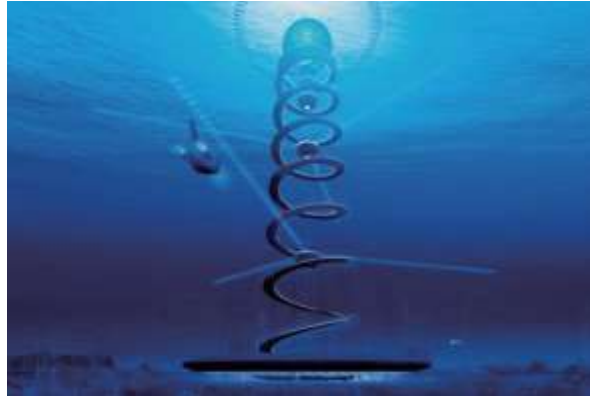
A működéséhez szükséges energiát saját maga termelné meg, a víz alatti megújuló energiaforrások felhasználásával. Az óceán fenekén lévő áramfejlesztő generátorok pedig a vízhőmérséklet különbségből adódóan termelnének áramot az óceáni hőenergia átalakítási technológia alkalmazásával. A város ivóvízellátását a tengervízből állítanák elő hidraulikus pumpák segítségével. Bár egyelőre ezek csak tervek, a japán mérnökök azt állítják, hogy a szükséges technológia nagy része már ma is létezik, csak nagyon drága lenne a megvalósítás.

2. A mérnökök kihívásai

Egy víz alatti város megépítése hatalmas mérnöki kihívás. Az egyik legnagyobb probléma a víznyomás. Minél mélyebbre megyünk a tengerben, annál nagyobb nyomás nehezedik a szerkezetre. Ezért a város falainak rendkívül erős anyagból kellene készülniük. A tervek szerint speciális acél- és kompozit²⁶ anyagokat használnának, amelyek ellenállnak a korróziónak és a nyomásnak. A gömb alak nem véletlen: ez a forma egyenletesen osztja el a külső nyomást, ezért sokkal stabilabb, mint egy hagyományos épület.

Japán esetében azonban nemcsak a víznyomással kell számolni, hanem a földrengésekkel is. Az ország a Csendes-óceáni térség egyik legaktívabb kőzetlemez-találkozási pontján fekszik. Több kőzetlemez – például a Csendes-óceáni-lemez és a Fülöp-lemez – folyamatos mozgásban van, és egyes területeken egymás alá buknak. Ez a folyamat időnként hatalmas energiát szabadít fel, ami gyakori földrengést okoz. Egy víz alatti város tervezésénél ezért különösen fontos a földrengésbiztos kialakítás. A tervek szerint a szerkezet rugalmas kapcsolódással csatlakozna a tengerfenékhez. Ez azt jelenti, hogy nem mereven rögzítenék, hanem bizonyos mértékig képes lenne elmozdulni anélkül, hogy megsérülne. Emellett több biztonsági zónát és zsiliprendszert is kialakítanának, hogy egy esetleges sérülés ne veszélyeztesse az egész várost.

²⁶ Olyan, legalább két különböző összetevőből álló mesterséges anyag, amelynél az alkotóelemek különállóak maradnak, de együttesen jobb tulajdonságokat (pl. nagyobb szilárdság, kisebb súly, korrózióállóság) eredményeznek, mint az elemek külön-külön



Az Ocean Spiral tengerfenékhez kapcsolódó spirál alakú, rugalmas szerkezete²⁷

A japán mérnöki tapasztalat – amely már a szárazföldi földrengésbiztos építészetben is világszínvonalú – fontos alapot jelenthet egy ilyen különleges projekt megvalósításához.

Egy víz alatti városban a biztonság elsődleges kérdés. Egy kisebb meghibásodás is gyorsan súlyos helyzetté válhat. Ezért több szintű biztonsági rendszert kellene kialakítani:

- különálló, lezárható szekciók, hogy sérülés esetén ne áradjon el az egész város,
- vészhelyzeti zsiliprendszerek,
- tartalék energiaforrások,
- folyamatos nyomás- és szerkezetfigyelő szenzorok.

3. A víznyomás hatása az emberi szervezetre

A víznyomás erősen hat az emberi testre, különösen akkor, amikor mélyebbre merülünk a vízben. A fokozódó nyomás összenyomja a testben lévő gázokat (Boyle-törvény), így a tüdő térfogata csökken. A mellkasra nehezedő nyomás miatt a belégzőizmoknak nagyobb munkát kell végezniük. A víznyomás hatására a vér a végtagokból a mellkasüreg felé tolódik, ami növeli a szívre nehezedő terhelést és a pulzusszám csökkenését eredményezheti. Nagyobb nyomáson a belélegzett levegő nitrogéntartalma nagyobb mennyiségben oldódik fel a vérben és a szövetekben, ami gyors felemelkedéskor keszonbetegséget okozhat. A test a benne lévő folyadékok miatt nagyrészt összenyomhatatlan, de a levegővel telt üregek - tüdő, fül, orrmelléküregek - érzékenyek a változásra.

Emellett az emberek pszichológiai terhelése is fontos tényező. Az emberi szervezet nincs hozzászokva a hosszú távú víz alatti élethez, ezért pszichológiai és egészségügyi kérdések is felmerülnek. A hosszú ideig zárt, mesterséges környezetben élés negatív hatással lehet a

²⁷ <https://impressmagazin.hu/a-japanok-mar-viz-alatti-varosokat-terveznek/>

mentális egészségre²⁸. Ezért a tervezés során figyelembe kellene venni a természetes fényhez hasonló világítást, tágas közösségi tereket és zöldfelületeket is.

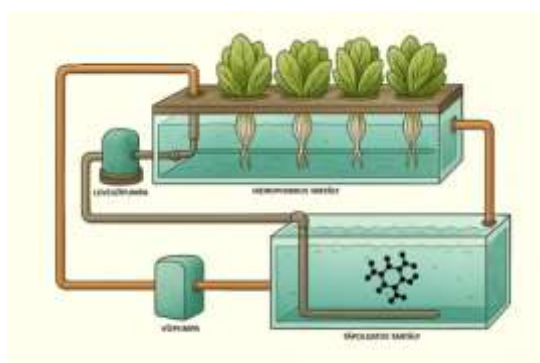
4. Energiaellátás

Egy víz alatti város csak akkor működhet hosszú távon, ha képes saját energiát termelni. A japán tervek szerint többféle megújuló energiaforrást kombinálnának. Felhasználnák az óceán hőmérséklet-különbségéből származó energiát, amely a melegebb felszíni és a hidegebb mélyvíz közötti különbséget hasznosítja. Emellett szóba került az árapály-energia és a tengeri áramlatok energiájának kihasználása is. A cél az, hogy a város ne függjön külső energiaforrásoktól, és ne növelje az üvegházhatású gázok kibocsátását.

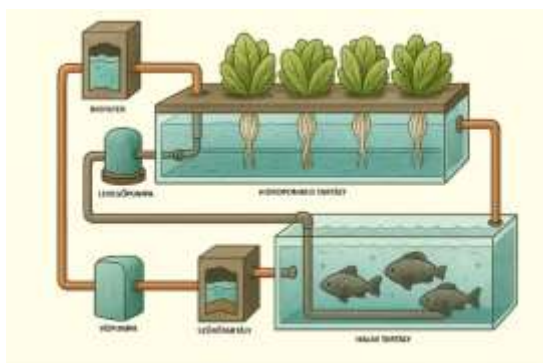
5. Élelmiszer- és oxigénellátás, fenntartható körforgás

Egy víz alatti város hosszú távon nem függhetne teljesen a szárazföldről érkező élelmiszer-szállítástól sem. Egyrészt ez nagyon költséges lenne, másrészt egy vihar vagy műszaki hiba esetén az ellátás megszakadhatna. Ezért a tervek szerint a városnak részben önellátónak kellene lennie. Az egyik legfontosabb lehetőség a tengeri algák termesztése. Az algák rendkívül gyorsan növekednek, és fehérjében, vitaminokban és ásványi anyagokban gazdagok. Emellett fotoszintézisre képesek, ami egy zárt rendszerben különösen előnyös.

A vízi növények mellett zárt rendszerű növénytermesztést is alkalmaznának. Ennek egyik formája a hidropónia, amely során a növények nem talajban, hanem tápanyagokkal dúsított vízben fejlődnek. Így zöldségek is termesztethetők lennének.



A hidropónia modellje²⁹



Az akvapónia körforgása³⁰

²⁸ A mentális egészség az érzelmi, pszichológiai és társadalmi jóllét állapota, amely lehetővé teszi a stressz kezelését, a produktív munkavégzést és a képességek kibontakoztatását, befolyásolva a gondolkodást, viselkedést és kapcsolatokat.

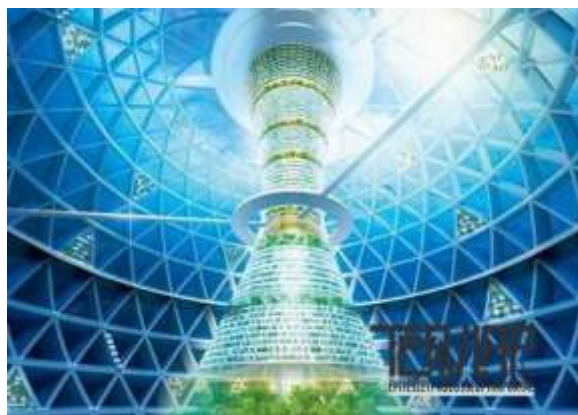
²⁹ <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/vizgazdalkodas/109623-fenntarthato-agrarium-uj-korszaka-avagy-hidroponia-es-akvaponia>

³⁰ <https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgalatas/vizgazdalkodas/109623-fenntarthato-agrarium-uj-korszaka-avagy-hidroponia-es-akvaponia>

A tervekben szerepelhetne az úgynevezett akvapónia is, amely a halgazdálkodást és a növénytermesztést kapcsolja össze. Ebben a rendszerben a halak által termelt szerves anyagokat a növények hasznosítják tápanyagként, miközben a növények megtisztítják a vizet. Ez egy körforgásos, fenntartható megoldás, amely csökkenti a hulladék mennyiségét és az energiafelhasználást is.

A halgazdálkodás egyébként is fontos szerepet kapna, hiszen a tengeri hal fehérjében gazdag táplálékforrás. Ugyanakkor kiemelt cél lenne, hogy a tenyésztés ne veszélyeztesse a természetes tengeri élővilágot. Ezért zárt, ellenőrzött rendszereket alkalmaznának, hogy ne kerüljenek ki idegen fajok a környezetbe, és ne szennyezzék a tengert.

Egy víz alatti városban a másik fontos kérdés az lenne, hogyan biztosítsák folyamatosan a belélegezhető levegőt. A szárazföldön ez természetesnek tűnik, de egy zárt rendszerben minden részletet pontosan meg kell tervezni.



Az Ocean Spiral központi részének terve³¹

Az oxigénellátás több forrásból történhetne. Az egyik lehetőség az elektrolízis, amely során elektromos áram segítségével a vizet hidrogénre és oxigénre bontják. Az így keletkező oxigén a levegőrendszerbe kerülhetne. Ez a módszer már ma is ismert, tengeralattjárókon és űrállomásokon is alkalmazzák.

Ugyanakkor hosszú távon nem lenne elég csak gépekre támaszkodni. Itt kapcsolódik össze az élelmiszer-termelés és a levegőellátás. Az algák és a zöld növények fotoszintézis³² során szén-dioxidot használnak fel, és oxigént termelnek. Ez azt jelenti, hogy miközben élelmiszert állítanak elő, hozzájárulnak a levegő minőségének fenntartásához is. Egy jól megtervezett

³¹ <https://impressmagazin.hu/a-japanok-mar-viz-alatti-varosokat-terveznek/>

³² A fotoszintézis (fényképzés) egy alapvető biokémiai folyamat, amely során a növények, algák és bizonyos baktériumok a napfény energiáját hasznosítva szerves anyagokból (szén-dioxid és víz) szerves anyagokat (cukrot) állítanak elő. Ez a folyamat a klorofill segítségével zajlik, miközben melléktermékként oxigén szabadul fel.

rendszerben a lakók által kilélegzett szén-dioxid a növénytermesztő egységekbe kerülne, ahol a növények felhasználják azt. A növények által kibocsátott oxigén pedig visszajutna a lakóterekbe. Így egy részben zárt, körforgásos rendszer jönne létre.

A fenntarthatóság azért fontos, mert egy víz alatti városban mindent nagyon takarékosan kellene használni. Minden erőforrást – vizet, levegőt, energiát, tápanyagot – újra és újra fel kell használni. Ez hasonló ahhoz, ahogyan az űrkutatásban működnek a zárt életfenntartó rendszerek. A cél nemcsak az lenne, hogy az emberek túléljenek a víz alatt, hanem hogy hosszú távon is élhető, egészséges környezet alakuljon ki. Ehhez pedig arra lenne szükség, hogy a technológiai megoldások és a természet működése jól kiegészítsék egymást.

5. GAZDASÁGI MEGVALÓSÍTHATÓSÁG

Egy víz alatti város terve izgalmas és jövőbe mutató, a legnagyobb problémát valószínűleg nem is a technológia jelentené, hanem az, hogy egy ilyen projekt nagyon drága lenne. Egy ilyen létesítmény megépítése hatalmas beruházást igényelne, amely meghaladná a legtöbb hagyományos építkezés költségét. Emellett komoly mérnöki kihívás a biztonság, az élelmiszer-ellátás és a megfelelő életkörülmények biztosítása is.

Ebben a fejezetben azt vizsgálom meg, milyen pénzügyi tényezők befolyásolhatják a projekt sikerét.

1. Építési költségek

A japán Shimizu Corporation által bemutatott Ocean Spiral koncepció becslések szerint több tízmilliárd dollárba kerülne. Ráadásul a mélytengeri építkezés speciális hajókat, úszódarukat és robotikai eszközöket igényelne, amelyek önmagukban is rendkívül költségesek. Az előkészítő kutatások – például a tengerfenék geológiai vizsgálata – szintén hosszú időt és komoly pénzügyi befektetést igényelnének.

A költségek főbb részei:

- speciális, nagy szilárdságú anyagok
- mélytengeri építési technológia
- biztonsági és életfenntartó rendszerek
- energia- és élelmiszertermelő egységek
- kutatás és fejlesztés

Mivel a technológia egy része még nem áll készen tömeges alkalmazásra, a fejlesztési költségek is jelentősek lennének. Az első ilyen város mindig drágább lenne, mint a későbbiek, mert sok új megoldást kellene kifejleszteni.

2. Fenntartási költségek

Az építés csak az első lépés. A fenntartás folyamatos és hosszú távú kiadásokat jelentene. Ide tartozik:

- a szerkezetek rendszeres ellenőrzése
- javítások és alkatrészcserek
- energiaellátás biztosítása
- élelmiszertermelés működtetése
- biztonsági rendszerek karbantartása

A tengervíz korróziós³³ hatása miatt a szerkezeteket gyakrabban kellene ellenőrizni, mint egy szárazföldi épületet. A tengeri élőlények – például kagylók és algák – idővel rátapadhatnak a külső felületekre, ami károsíthatja a szerkezetet vagy növelheti az ellenállást. A mélytengeri környezetben minden művelet lassabb és költségesebb, mint a szárazföldön.

A fenntartási költségeket tovább növelheti, hogy a legtöbb javítás csak speciális bűvárokkal, egyedi eszközökkel vagy távirányítású robotokkal végezhető el. Egy nagyobb meghibásodás esetén akár a város egy részét is ideiglenesen le kellene zárni, ami gazdasági kiesést okozhatna. Fontos kérdés az is, hogy a város mennyire lenne önellátó. Ha túl sok külső erőforrásra – például élelmiszerre vagy pótalkatrészre – lenne szükség, az rendszeres szállítást igényelne, ami tovább növelné az üzemeltetési költségeket. Hosszú távon csak akkor lenne gazdaságosan fenntartható, ha a működése nagy részben zárt, körforgásos rendszerekre épülne.

3. Befektetői oldal

Egy ilyen projekt megvalósításához valószínűleg állami támogatás és magánbefektetők együttműködésére lenne szükség. A kérdés az, hogy mi lehetne a gazdasági haszon, ami miatt valaki hajlandó lenne ekkora összeget befektetni.

Lehetséges bevételi források:

- fejlett technológiai központ kialakítása
- tudományos kutatóállomás
- turizmus

³³ A korrózió a fémek és fémtárgyak környezeti hatások (nedvesség, oxigén, vegyszerek) miatt bekövetkező kémiai vagy elektrokémiai roncsolódása.

➤ speciális, magas presztízssű lakóövezet

Egy víz alatti város akár kutatási központként is működhetne, ahol a tengeri élővilágot, a mélytengeri geológiát vagy az új energiaforrásokat vizsgálnák. Ez hosszú távon tudományos és gazdasági előnyökkel is járhatna. Emellett a különleges környezet miatt turisztikai látványosság is lehetne, ami bevételt termelne.

Ugyanakkor komoly kockázatokkal is számolni kell. A befektetők számára kérdéses lehet, hogy a projekt mennyi idő alatt térülne meg, és egyáltalán megtérülne-e. Egy esetleges műszaki hiba vagy természeti katasztrófa jelentős anyagi veszteséget okozhatna. Vajon hosszú távon fenntartható és gazdaságilag indokolt lenne egy ilyen beruházás? Felmerül az a kérdés is, hogy kik számára lenne elérhető az ottani élet lehetősége. Valószínű, hogy kezdetben csak nagyon tehetős emberek vagy nagyvállalatok engedhetnék meg maguknak. Ez társadalmi egyenlőtlenségekhez vezethetne, és felveti azt az etikai kérdést is, hogy egy ilyen megoldás valóban a globális problémákra válaszol, vagy inkább egy szűk réteg számára kínál biztonságos megoldást.

Gazdasági szempontból tehát nem csupán a megtérülés kérdése a döntő, hanem az is, hogy egy víz alatti város valóban a klímaváltozás következményeire ad-e választ, vagy inkább csak alkalmazkodik azokhoz. Ha a beruházás elsősorban egy szűk, tehetős réteg számára kínál menedéket, akkor felmerül a kérdés, hogy ez mennyiben szolgálja a közös jövőt. Azt is mérlegelni kell, hogy egy ilyen létesítmény milyen hatással lenne a tengeri környezetre.

6. KÖRNYEZETI HATÁSOK

„Az élővilág nem működhet egészséges óceánok nélkül. És mi sem.”

(David Attenborough)

Egy víz alatti város létrehozása jelentős környezeti következményekkel járna. Bár célja az lenne, hogy alkalmazkodjon a tengerszint-emelkedéshez és csökkentse az emberiség szárazföldi terhelését, maga az építkezés és működtetés komoly beavatkozást jelentene a tengeri ökoszisztémákba.

1. Pozitív hatások

Megfelelő tervezés esetén a víz alatti szerkezetek mesterséges zátonyként is működhetnének. A különböző felületeken algák, kagylók és más tengeri élőlények telepedhetnének meg, ami új élőhelyeket hozhatna létre. Ha a város energiaellátása megújuló forrásokra – például árapály- vagy hullámenergiára – épülne, az csökkentené az üvegházhatású gázok kibocsátását. Emellett

a zárt rendszerű víz- és hulladékgazdálkodás akár mintául is szolgálhatna fenntarthatóbb szárazföldi települések számára.



A korall keret mesterséges szikla egy korallzátony területén Malajziában³⁴

2. Negatív hatások

Nem hagyható figyelmen kívül a tengeri ökoszisztémák sérülékenysége. A tengerfenék bolygatása, az építkezés során keletkező zaj és esetleges szennyezések károsíthatják a helyi élővilágot: a korallzátonyokat, a tengeri növényzetet és az állatvilágot. A zajszennyezés és a megnövekedett emberi jelenlét megzavarhatná a halak, tengeri emlősök és más élőlények természetes viselkedését. Kérdés, hogy valóban biztosítható-e az, hogy a város működése ne gyakoroljon negatív hatást a tengeri környezetre?

3. Etikai és felelősségi kérdések

A víz alatti városok létrehozása nem csupán mérnöki és gazdasági kérdés, hanem komoly etikai dilemmákat³⁵ is felvet. Az emberiség története során folyamatosan új területeket hódított meg, azonban mára egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a Föld ökoszisztémái végesek és sérülékenyek. Jogunk van-e újabb és újabb élettereket birtokba venni, vagyis a tengerek mélyét is lakóterületté alakítani, miközben a szárazföldi környezet megóvása sem megoldott?

A másik legfontosabb erkölcsi szempont a felelősség kérdése. Ha egy ilyen város működése mégis károsítaná a tengeri élővilágot, ki viselné a következményeket? Az államok, a beruházók, a mérnökök vagy az ott élő közösség? A döntések hosszú távú hatásai akár generációkon átívelő következményekkel járhatnak.

További etikai kérdés az igazságosság problémája. Vajon mindenki számára elérhető lenne-e egy víz alatti város, vagy csupán a tehetősebb rétegek számára nyújtana biztonságos menedéket

³⁴ <https://depositphotos.com/hu/photos/mesters%C3%A9ges-z%C3%A1tony.html?view=450400494>

³⁵ A dilemma (görög eredetű szó, jelentése "kettős állítás") olyan nehéz döntési helyzet, ahol két lehetőség közül kell választani, de egyik sem teljesen elfogadható vagy előnyös

a tengerszint-emelkedés elől? Ha csak egy szűk csoport számára biztosítana védelmet, az tovább mélyíthetné a társadalmi egyenlőtlenségeket.

Ökológiai szempontból is alapvető kérdés, hogy az ember képes-e valóban minimális beavatkozással együtt élni a tengeri környezettel. A „nem ártás” elve – amely számos környezetvédelmi irányelv alapja – itt különösen fontos lenne. Egy víz alatti város csak akkor tekinthető etikai szempontból elfogadhatónak, ha működése nem okoz visszafordíthatatlan károkat. A víz alatti városok kérdése tehát nem csak technológiai, hanem erkölcsi kérdés is.



*Etikai egyensúly a klímaváltozás vonatkozásában — az ember felelőssége a természet iránt*³⁶

7. NEMZETKÖZI KITEKINTÉS, ALTERNATÍV MEGOLDÁSOK

A világ várostervezői és mérnökei között erős verseny zajlik arról, ki tudja először bemutatni a jövő városainak működőképes modelljét. A vízre épülő városok és lebegő közösségek nemcsak műszaki bravúrként jelennek meg, hanem mint olyan jövőbeni lakhatási formák, amelyek akár milliók életét befolyásolhatják a tengerszint emelkedésének korában. Bár a víz alatti városok gondolata technológiailag izgalmas és jövőbe mutató, nem ez az egyetlen válasz a klímaváltozás és a tengerszint-emelkedés kihívásaira. Az elmúlt években több más ország és szervezet is előállt hasonló elképzelésekkel, amelyek más módszereket kínálnak a változó környezethez való alkalmazkodásra.

³⁶ https://t-modell.uni-miskolc.hu/files/8989/tarsvall_1_SZK_Az+%C3%BCzleti+etik%C3%A1t%C3%B3l+a+t%C3%A1rsadalmi+v%C3%A1llalkoz%C3%A1sokig.pdf

1. Partvédelmi rendszerek

Sok ország hatalmas gátakat, árvízvédelmi falakat épít a partmenti területek védelmére. A partvédelmi rendszerek között azonban nem csak hagyományos, fix gátak és falak találhatók, hanem egyre gyakrabban alkalmaznak mozgatható és intelligens szerkezeteket is, amelyek az időjárási és vízállás-változásokhoz igazodnak. Például bizonyos zsiliprendszerek csak akkor emelkednek vagy záródnak, amikor a tengerszint eléri a veszélyes szintet, így a városok számára szükségtelenné teszik az állandó, magas költségű karbantartást. Ezek egyetlen célja, hogy megakadályozzák a tengervíz betörését a lakott területekre. Bár ezek a megoldások is költségesek, rövid és középtávon hatékony védelmet nyújthatnak. Bemutatok néhányat a legismertebbek közül.

1. A Temze-gát a világ egyik legnagyobb mozgatható árvízvédelmi gátja az angol fővárosban, Londonban. Forgó szektoros kapuk, amelyek szükség esetén elzárják a Temzét a tengeri áradástól.
2. Maeslantkering a világ legnagyobb mozgó alkatrészekből álló gátja, két hatalmas úszó kapuszárnyal Rotterdamban, Hollandiában.
3. A szentpétervári gát (hivatalosan Szentpétervár árvízvédelmi létesítménye) egy hatalmas komplexum a Finn-öbölben, amely a Kotlin-szigetet köti össze a szárazfölddel, megvédve a várost a pusztító tengeri áradásoktól. A komplexum 11 gátszakaszból, 6 vízáteresztő nyílásból és 2 hajózási csatornából áll.
4. A MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico – Kísérleti Elektromechanikus Modul) projekt egy nagyszabású mérnöki rendszer, amelyet Velence és a lagúnák megvédésére terveztek az "acqua alta", azaz a visszatérő magas vízszint és áradások ellen. A rendszer 78 darab, sárga színű, üreges fém zsilipelemből áll, amelyek a tengerfenéken, betonágakban nyugszanak, amikor nincs rájuk szükség. Amikor 110 cm feletti áradást jeleznek előre, a zsilipekbe sűrített levegőt juttatnak, ami kiszorítja a vizet, így a gátak felemelkednek, elzárva a lagúnát az Adriai-tengertől.



Temze-gát³⁷



Maeslantkering³⁸



A NASA műholdfelvétele a Finn-öbölről és a Szentpétervárt védő zárógátról³⁹



A MOSE-projekt Velencében⁴⁰

³⁷ https://ekozbenlondonban.blog.hu/2015/07/24/a_temze-gat_ami_nelkul_nem_elne_tul_london

³⁸ https://earth.org/data_visualization/sea-level-rise-by-2100-rotterdam/

³⁹ https://www.urvilag.hu/ertekeink_vedelme/20210626_a_finnobol_zarogatja

⁴⁰ <https://librius.hu/2020/07/10/most-lesz-a-velencei-nagy-zsiliprendszer-foprobaja-ami-elzarja-a-tengertol/>

2. Más országok terve: lebegő városok és mesterséges szigetek

Egy másik lehetőség a vízfelszínen lebegő települések kialakítása. Ezek az építmények a vízszint emelkedésével együtt mozognak, így nem szükséges teljesen a tenger alá költözni. A lebegő szerkezetek technológiailag kevésbé extrém környezetben működnek, mint a mélytengeri városok. Egyre több nemzet gondolkodik olyan városok kialakításában, amelyek nem a szárazföldön, hanem a víz felszínén vagy közelében működnek.

➤ A Maldív-szigetek például egy olyan lebegő város projektet tervez, amely akár tízezreknek nyújthat otthont anélkül, hogy hagyományos módon a szárazföldet építenék tovább. A 2027-re tervezett úszó város (Maldives Floating City) egy 20 000 lakos befogadására alkalmas, méhsejtszerű struktúra, amely a korallokhoz hasonlóan növekedhet. A Waterstudio által tervezett, a Dutch Docklands által kivitelezett modulokat helyi hajógyárakban készítik, majd a helyszínen, a tengerfenékhez teleszkópos cölöpökkel rögzített, víz alatti betontestekre csatlakoztatják. A Male közelében található lagúnában épülő város színes házakat, kórházat, iskolát és üzleteket foglal magában, melyeket mesterséges korallzátonyok védenek.



A Maldív-szigeteki úszó város 2027-re készülhet el⁴¹

➤ Dél-Koreában Puszanban is egy „lebegő város” prototípusán dolgoznak, amely az ENSZ Habitat támogatásával készül és hatszög alakú, vízen lebegő egységekből állna. Az Oceanix-projekt jelenleg tervezési szakaszban tart. A kivitelezési munkálatok megkezdését 2027-re tervezik, és a lebegő város prototípusának elkészültét 2030-ra tűzték ki célul. Ugyanakkor nem zárható ki, hogy a megvalósítás a tervezetthez képest késedelmet szenved. A csúszás egyik fő oka, hogy bár Puszan jelentős erőfeszítéseket tett a pályázat érdekében, végül nem nyerte el a 2030-as világkiállítás rendezési jogát. A lebegő város projektjét szorosan összekapcsolták az

⁴¹ <https://turizmus.com/cikk/archiv/vizen-lebego-hazakbol-epul-uszo-varos-a-maldiv-szigeteknel>

expóval, mivel a tervek szerint ott mutatták volna be az elkészült prototípust. A világkiállítás elmaradása így érezhetően visszavethette a kezdeményezés lendületét és nemzetközi figyelmét.

➤ Ezzel ellentétben egy kifejezetten mélytengeri lakóhelycsoportot tervezett egy DEEP elnevezésű brit startup⁴² vállalkozás, amelyben az emberek hosszabb időt is eltölthetnének a víz alatt. Ezek a városok személyre szabható, kapszulaszerű épületszervezetekből állnának. Állításuk szerint 200 méteres mélységben is kivitelezhető, hogy akár közel egy teljes hónapot eltöltsenek az ott élők bármiféle szervezeti károsodás nélkül.



A brit startup kapszulái a tengerek mélyén⁴³

3. A kibocsátás csökkentése és megelőzés

Véleményem szerint a leghatékonyabb hosszú távú megoldás továbbra is a globális felmelegedés lassítása volna. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, a megújuló energiaforrások használata és az erdők védelme mind hozzájárulhat a tengerszint-emelkedés ütemének mérsékléséhez. Ez a megközelítés nem csupán alkalmazkodás, hanem a probléma gyökerének kezelése lenne.

4. Visszavonulás

Mérlegelve a lehetőségeket, bizonyos területeken a legrealisabb megoldás az volna, ha a lakosságot fokozatosan áttelepítenék biztonságosabb, magasabban fekvő régiókba. Bár ez társadalmi és gazdasági szempontból nehéz döntés, hosszú távon fenntarthatóbb lehet, mint a rendkívül költséges műszaki beavatkozások. A víz alatti városok terve csak egy lehetséges válasz a klímaváltozás kihívásaira. Valószínű, hogy a jövőben többféle megoldást is egyszerre

⁴² A startup kifejezés egy vállalkozás első életszakaszát jelöli, amiben a kezdeti kiadásokat jellemzően a tulajdonos saját befektetett, vagy kapott tőkéből fedezi és az első bevételei előtt van még

⁴³ <https://firstclass.hu/life/2023/09/22/viz-alatti-varosok-epulhetnek-nehany-ev-mulva/>

kell majd alkalmazni: technológiai innovációt, környezetvédelmi felelősséget és társadalmi alkalmazkodást egyaránt.

5. Együttműködés és az ismeretek megosztása

A világméretű kihívások nemzetközi együttműködést is ösztönöznek. Az Oceanix városprojekthez hasonló terveket olyan szervezetek támogatják, mint az ENSZ Habitat, amelyek több országot és kutatóintézetet hoznak össze, hogy közös tudást és tapasztalatot építsenek fel. A lebegő városok, úszó szigetek, vagy akár a víz alatti szerkezetek fejlesztése során szerzett mérnöki, környezetvédelmi és társadalmi ismeretek később más projektekben is hasznosíthatók lesznek.

A tudás megosztása lehetőséget ad arra, hogy ne csak egy-egy ország rendelkezzen élhető, klímabiztos településekkel, hanem hogy a legjobb gyakorlatok szélesebb körben elterjedhessenek. Ez különösen fontos abban az esetben, amikor a tengerszint-emelkedés hatásai szélesebb régiókat érintenek majd.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

„A természet nem a mi tulajdonunk, hanem a mi felelősségünk.”

(Jacques-Yves Cousteau)

Dolgozatomban részletesen bemutatam, hogy a víz alatti városok gondolata egyszerre tudományos kihívás, mérnöki elképzelés és etikai kérdés. Áttekintettem a tengerszint-emelkedés okait és következményeit, valamint azt, hogy a klímaváltozás milyen alkalmazkodási stratégiákat kényszeríthet ki az emberiségtől. Bemutattam a víz alatti települések műszaki feltételeit, energiaellátási és élelmiszertermelési lehetőségeit, továbbá a gazdasági, társadalmi és környezeti kockázatokat is.

A víz alatti városok ötlete nagyon izgalmas, de megvalósításuk rengeteg mérnöki és technológiai problémát vet fel. Megvalósításuk új építési módszereket és innovatív anyagokat igényelne, valamint választ kellene adnia a hatalmas víznyomás, a levegőellátás, az energia- és élelmiszertermelés, illetve a zárt ökoszisztémák fenntartásának problémáira. Jelenleg ezekre még nem állnak rendelkezésre széles körben alkalmazható, gazdaságosan kivitelezhető megoldások, csupán kísérleti projektek és elképzelések.

Összességében a víz alatti városok nem csupán technológiai lehetőséget jelentenek, hanem annak próbáját is, hogy az emberiség képes-e felelősen és fenntartható módon alkalmazkodni a változó környezethez. A jövő kérdése nemcsak az, hogy meg tudjuk-e építeni ezeket a városokat, hanem az is, hogy valóban ez-e a leghelyesebb irány.

Mivel nagyon érdekelnek a víz alatti városok és a tengeri élet, a jövőben szeretném figyelemmel kísérni az ehhez kapcsolódó projektek fejlődését. Amennyiben lehetőségem lesz rá, szívesen részt vennék ilyen kutatásokban vagy fejlesztésekben, akár a tengeri élővilág vizsgálatával, akár a víz alatti települések megvalósításával kapcsolatos munkákban.

Emellett fontosnak tartom a környezetvédelmet is, és szeretnék aktívan hozzájárulni természeti környezetünk megóvásához. Jelenlegi legfontosabb célom a tanulás, hogy a jövőben megfelelő tudással és lehetőségekkel kapcsolódhassak be ezekbe a kezdeményezésekbe.

A megvalósítást hosszú távon úgy képzelem el, hogy először biológia tagozatos gimnáziumban tanulok tovább, azt követően pedig egyetemi tanulmányokat tervezek, ahol megszerezhetem a terveim megvalósításához szükséges tudást. Mindezt azért, hogy egy közös cél érdekében dolgozhassak, elősegíthessem az emberiség előrehaladását — ezzel is hozzájárulva a világ jobbá tételéhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

<https://www.foxweather.com/learn/what-is-the-jet-stream>

https://www.met.hu/ismeret-tar/meteorologiai_hirek/index.php?id=2938

<https://marine.copernicus.eu/>

<https://klimavaltozas.joljarok.hu/a-tengerszint-emelkedes-okai-kovetkezhmenyei/>

<https://marine.copernicus.eu/hu/ocean-climate-portal/sea-level>

https://hvg.hu/tudomany/20250529_tengerviz-szintjenek-emelkedese-migracios-krizis-globalis-felmelegedes-jegolvadas

Telex: Még a NASA-t is meghökkentette, mekkorát emelkedett a tengerek szintje tavaly

<https://sealevel.nasa.gov/news/282/nasa-analysis-shows-unexpected-amount-of-sea-level-rise-in-2024/>

<https://www.worldbank.org/ext/en/home>

<https://xforest.hu/mangrove-erdo/>

<https://geometodika.hu/mangroveerdok/>

<https://klimavaltozas.joljarok.hu/a-tengerszint-emelkedes-okai-kovetkezhmenyei/>

<https://www.nak.hu/tajekoztatasi-szolgaltatas/vizgazdalkodas/109623-fenntarthato-agrarium-uj-korszaka-avagy-hidroponia-es-akvaponia>

https://www.weforum.org/stories/2020/06/quotes-ocean-future-environment-climate-change/?utm_source=chatgpt.com

<https://firstclass.hu/life/2023/09/22/viz-alatti-varosok-epulhetnek-nehany-ev-mulva/>

<https://holnaputan.hu/holnaputan/epitkezes-a-vizen-uszo-varosok-regen-es-most>

<https://www.startlap.hu/utazas/japan-lebego-vizi-varos-klimavaltozas-2023-fotok/>

<https://epiteszforum.hu/velence-jovoi-elet-a-viz-alatt>

<https://turizmus.com/cikk/archiv/vizen-lebego-hazakbol-epul-uszo-varos-a-maldiv-szigeteknel>

https://index.hu/kulfold/2025/02/15/del-korea-puszan-lebego-varos-tengerszint-emelkedes-klimavaltozas/?utm_source=chatgpt.com

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Fotoszint%C3%A9zis>