A taumazit-szulfátkorrózió (Monográfia és a szakirodalom kritikai elemzése)

Révay Miklós – Laczkó László

CEMKUT Kft.

revaym@mcsz.hu

The thaumasite sulphate attack (TSA)

In the last few years the technicians and experts could meet with a new sort of corrosion of concretes, so-called thaumasite-sulphate corrosion or thaumasite sulphate attack (TSA). The reason of this manifestation and phenomenon is the transmutation of calcium-hydrosilicates (C-S-H) of the solidified concretes into pulpy and pasty thaumasite ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$). At present the thaumasite is well-known as a mineral too. In spite of this unfortunately, by X-ray diffraction it is very difficult to distinguish thaumasites (TSA) from ettringites because of their similar morphology and crystal-structures.

In their article the authors show, that TSA-s can be appearance in concretes because of the followings reasons:

- Presence of SO_4^{2-} or S^{2-} ions in the ground solles or in ground waters;

- Presence of CO_3^{2-} in the cement or the additional materials of concretes;

- Presence of SO_4^{2-} or S^{2-} in the technological waters;

- Low temperature ($t < 15^\circ\text{C}$) of concrete.

On the basis of the registered several hundreds appearances of TSA, authors collected the thaumasites into following groups:

- Thaumasites as results of grounds with sulphates or sulphides around the concrete;

- Thaumasites, appeared in concretes because of exhaust or escape-gases, around the building construction made from concrete;

- TSA-s as results of streaming sea-water around the construction made from concretes;

- Thaumasites because of injured mortars used for concretes.

1. Bevezetés

Úgy tűnik, hogy a cementgyártás- és betontechnológia fejlődésével párhuzamosan a betonkárosodást okozó fizikai és kémiai folyamatok száma is növekszik.

Szózással csökkentjük útjaink téli síkosságát – megjelent az út menti vasbeton létesítmények korróziója. Sikeresen oldottuk meg a cementgyárak portalanításának akut problémáját – néhány év múlva megjelent az alkáliadálék-korrózió. Feltaláltunk egy olyan cementet (S-54 pc), amely védelmet nyújt a budai keserűvíz-hőforrásokból keletkező, a korabeli szakirodalomban „cementbacilus-ként” emlegetett ettringittel szemben – de már támad az új szulfátkórokozó („cementvírus”).

A múlt század végén ugyanis új típusú szulfátkárosodással ismerkedett meg Nyugat-Európa. Az új kórokozó neve **taumazit**. A kór pedig közép-angliai tömeges megjelenése óta „taumazit-szulfáttámadás” (angolul: Thaumasite Sulphate Attack, közkeletű rövidítéssel és a továbbiakban: TSA) néven vált Európa-szerte ismertté, s európaiságunk nem kívánt bizonyítékeként hazánkban is.

Mindenekelőtt ismerkedjünk meg közelebbről ezzel rejtélyes ásvánnyal.

2. Mi a taumazit?

2.1. Taumazit a természetben

A taumazit nem tartozik az ősidők óta ismert ásványok közé. Mint már annyiszor leírták, váratlan felfedezése a

19. század végén egy norvég kutató nevéhez fűződik [1], aki meglepetésének kifejezésére a görög „θαυμαζειν”= „taumazein”= „meglepődni” ige alapján adott nevet az új ásványnak.

Természetes ásványként Magyarországon is előfordul, egyik legutóbbi erre utaló publikáció a mészkőbányájáról ismert devon kori polgárdi Szár-hegy szilikátos ásványai között, mintegy 2 mm-es, hatszögletű, hasáb alakú kristályokként azonosítja [2]. De előfordul bazaltbányákban is, például Veszprém megyében a Haláp-hegyi és Sarvaly-hegyi kőfejtőben. Ennél jóval fejlettebb példányait többek között a miskolci Herman Ottó, valamint a veszprémi Bakony Múzeumban is őrzik [4]. A 1. ábrán látható szép hexagonális kristály a Kalahári-sivatag egyik mangánbányájából származik. Esztétikus megjelenésé-

1. ábra. Jól fejlett taumazitkristály
Well-grown crystal of Thaumasite

nek köszönhetően néhány ékszerkatalógus is megemlíti azzal a megjegyzéssel, hogy kis keménysége miatt nem csiszolható [5]. Az 1. táblázatban néhány fizikai, kémiai és kristálytani jellemzőjét közöljük [6].

1. táblázat

A taumazit néhány jellemzője
Some characteristic data of Thaumasite

Megnevezés	Érték
Képlet	$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{CO}_3)(\text{SO}_3)(\text{OH})_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ $(\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15 \text{H}_2\text{O})$
Móltömeg	622,62
Kristályrendszer	Hexagonális dipiramid, P 6 ₃ /m
Elemi cella (Å)	a = 11.03; c = 10.4; Z = 2; V = 1,095.76
Sűrűség (g/cm ³)	1,89
XRD reflexiók (Å)	(I/I ₀): 9.56(1), 5.51(0.4), 3.41(0.2)
Hasadás	Gyenge
Szín	Szintelen, fehér

2.2. Taumazit a betonban

A betonban először 1965-ben az Egyesült Államokban, szennyvízlevezető betoncsövekben, valamint járdaburkolat alatti ágyazóhabarcsban azonosították károsodást okozó termékként [7]. Majd Európában is feltűnt, először 1969-ben Angliában mutatták ki lakóházak válaszfalaiban, a mészkőtartalmú kőművescement-habarcs és a gipszvakolat érintkezési helyein, 6-8 hetes hűvös, nedves klíma hatására, mintegy 3 cm vastagságú, puha, porhanyós-pépes széttroncsolódott réteg alakjában. Azóta három kontinens számos országában azonosítottak olyan beton- vagy habarcskárosodást, amit a TSA okozott [8].

Mindezek ellenére általában különleges körülmények között jelentkező, meglehetősen ritka jelenséggént tartották számon [9].

A TSA akkor került az érdeklődés homlokterébe, amikor a múlt század 90-es éveiben Angliában néhány családi ház alapozásánál, majd egy autószára vasbeton hídoszlopainál tömegesen jelentkezett. Ennek hatására az Egyesült Királyság kormánya a Birminghami Egyetem professzorának, Les Clarknak a vezetésével szakértőcsoportot (Thaumasite Expert Group, a továbbiakban: TEG) bízott meg a jelenség kivizsgálásával és a szükséges intézkedések kidolgozásával [10]. A tapasztalatokat több helyi jellegű szeminárium után nemzetközi konferencián is értékelték [8].

A továbbiakban a legfontosabb tudnivalókat a TEG jelentéseire, valamint a konferencián elhangzott előadásokra alapozva foglaljuk össze.

2.2.1. A Taumazit Szakértői Csoport (TEG) jelentései (8–12)

A TEG első, 1999 januárjában közzétett jelentése elsősorban a közép-angliai Gloucestershire-nél, az M5 autószára-

da vasbeton hídoszlopainak talajszint alatti részén észlelt károsodások tapasztalatait foglalta össze. A harminc évvel azelőtt épült létesítmény betonalapozását azért tárták fel, hogy megvizsgálják, a megnövekedett járműforgalom következtében nincs-e szükség annak megerősítésére. A feltárás után megállapították, hogy az oszlopok külső felületén a beton 30–50 mm mélységig főleg taumazitból álló, puha, fehér színű péppé alakult át. Ennek eredményeként a jégtelenítő sózás után leszivárgó víz kloridtartalma helyenként megtámadta a vasbetétet.

A TEG-jelentés mindenekelőtt tisztázta a taumazitképződés sztöchiometriáját.

Megállapította, hogy a taumazit a betonban létrejöhet:

kalcium-szilikátokból („közvetlen út”),

például:

és

valamint

kalcium-aluminátokból ettringiten és vudforditon át (ettringit-taumazit elegykristály) közvetve („vudfordit út”),

és

A TEG-jelentés a folyamat veszélyességét figyelembe véve két „fokozatot” különböztet meg.

A *taumazitképződés* az elsődleges ettringitképződéshez hasonlóan a szabad szemmel nem látható mikropórusokat és repedéseket tölti ki. Bár önmagában veszélytelen, mégis figyelmet érdemel, mert gyakran a TSA előfutára.

A *taumazit-szulfátkorrózió* (TSA) szabad szemmel is megfigyelhető roncsolóhatása kettős: egyrészt a másodlagos ettringithez hasonlóan duzzadást és repedezést okoz, másrészt a szilárdsághordozó C-S-H vegyületek kötőerejét megszünteti.

A hídoszlopoknál ez először a beton és a talaj érintkezési helyein jelentkezett (2. ábra).

Az első TEG-jelentés a következő károsodásokat tárgyalja:

- szulfát- és szulfidtartalmú talajvíz hatásának kitett vasbeton hídalapozás – 50 helyszínen;
- betonalapozás – 6 épületnél;

2. ábra. Jellemző TSA egy vasbeton oszlopon
Typical TSA crystal inside of ferro-concrete column

- szulfátos talajjal érintkező beton burkolólap – 6 helyen;
- nagy szulfáttartalmú téglá falazóhabarcsa – 20 eset;
- a londoni metró alagútjában – 2 eset;
- tengervíz okozta korrózió kikötő lépcsőjén – 1 eset.

A TEG természetesen legtöbbet a leglátványosabb károsodást szenvedő vasbeton hídalapozással foglalkozott. Mindenekelőtt rögzítették a TSA-t előidéző kockázati tényezőket.

Elsődleges kockázati tényezők

- a) SO_4^{2-} vagy S^{2-} ionok jelenléte a talajban. Az M5 autószertráda közép-angliai szakaszának jellegzetes talajfőlése közép-liász kori agyag, melyben a talajvíz gyakran szulfátokkal (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) telített. De még ennél is gyakoribb, hogy a szulfáttartalom ugyan a TSA jellegzetes előfordulási helyein kisebb a megengedett limitnél ($SO_4^{2-} \leq 400$ mg/l), azonban a földmunkákkal „szellőztetett” talaj pirittartalmának (FeS_2) oxidálódása hatására e határértéket meghaladó mennyiségű szulfát keletkezik.
- b) CO_3^{2-} jelenléte. Ennek a betonadalék-anyagként vagy cement-kiegészítőanyagként alkalmazott mészkő vagy dolomit lehet a forrása. Az M5 autószertráda kérdéses szakaszán például leggyakrabban dolomitot alkalmaztak betonadalék-anyagként. Kedvezőtlen körülmények esetén azonban karbonátos kőzet jelenléte nélkül, a légkör vagy a talajvíz CO_2 -tartalma is okozhat TSA-t.
- c) *Vízáramlás*. Ez a feltétel a legtöbbször adott a talajba szivárgó csapadékvíz hatására vagy beton csővezetékben.
- d) *Alacsony hőmérséklet*. Elsősorban a $15^\circ C$ alatti hőmérsék-

let kedvez a taumazitképződésnek, e fölött inkább ettringit keletkezése a valószínűbb. Optimumként $t \leq 5^\circ C$ -t jelölik meg.

E feltételek jelenléte esetén a következő másodlagos kockázati tényezőknek is jelentős szerepe lehet.

Másodlagos kockázati tényezők

- a) *A cement mennyisége és minősége*. A TSA bekövetkezéséhez szükséges szilikátokat a megszilárdult cement C-S-H fázisai, illetve a hidratálatlan klinkerásványok (C_3S vagy inkább a lassabban hidratáló β - C_2S) szolgáltathatják. Következésképp ezek mennyiségének növekedésével nagyobb lesz a TSA bekövetkezésének az esélye is.
- b) *A beton minősége, illetve tömörsége*. A több cementet tartalmazó, nagyobb szilárdságú, jobban tömörített beton a többi külső korróziós hatással együtt a TSA-nak is jobban ellenáll.
- c) *A talaj, illetve a talajvíz kémiai összetételének megváltozása*. Ilyen például a talaj szulfidtartalmának oxidációja, a vízösszetétel megváltozása jégtelenítő sózás hatására, a szennyvízösszetétel módosulása a csővezetékben stb.
- d) *A beton típusa, alakja, geometriája*. Például a TF és a TSA mindig a sarkokon és éleken kezdődik.

Fontos megjegyezni, hogy a legjellegzetesebb károsodások akkor is felléptek, ha a betonozásnál minden olyan óvintézkedést betartottak, amelyet a hatályos szabványok és műszaki előírások megkövetelnek. Egy másik jellegzetesség, hogy a TSA leggyakrabban betemetett, mintegy 5 méterrel a talajszint alatt lévő betonokban jelentkezett.

A TEG-jelentés nem zárja ki azt a lehetőséget sem, hogy ez a fajta korrózió a cementgyártás-technológia fejlődésével is összefügghet (pl. a telítési tényező, az őrlésfinomság vagy az alkálitartalom növekedése). Valószínűsíti a TEG-jelentés azt is, hogy a TSA korábban is létezett, csak nem ismerték fel.

Ez például azért is előfordulhatott, mert a szulfát-korrózió vizsgálatának szokásos hőmérséklete mellett a taumazitképződés korlátozott, általában inkább ettringit keletkezésével kell számolni.

Még inkább közrejátszhatott ebben, hogy az azonosításra leggyakrabban alkalmazott XRD vizsgálat esetén az ettringit és a taumazit egymás melletti kimutatása a két vegyület egymással csaknem fedésbe lévő reflexiói miatt megbízhatóan csak a technika fejlődésével vált lehetővé. Ez jól látható a 3. ábrán [13].

Mivel a talajszint alatt több méter mélységben lévő létesítmények vizsgálata igen körülményes és költséges, az is elképzelhető, hogy ma még kevés adat áll rendelkezésre, és a mélyben több helyen is ketyeghet a „taumazitbomba”.

A TEG javaslatai alapján a veszély minimalizálása érdekében több óvintézkedést javasoltak, illetve vezettek be.

3. ábra. XRD felvétel az ettringitről és taumazitról
XRD picture of Ettringite and Thaumasite

2.2.2. Első nemzetközi konferencia, „Taumazit a cement-tartalmú anyagokban” [8]

A 2001 májusában Londonban szervezett konferencián a 16 országból érkezett előadók 63 előadást tartottak. Ezek közül a legérdekesebbeket tekintjük át.

2.2.2.1. Alap kutatások

A taumazit stabilitásának kérdéseivel kapcsolatban figyelemre méltóak Bensted [1], valamint Barnet és szerzőtársainak kutatásai [16]. Megállapították, hogy bár a taumazit alacsony hőfokon képződik ($t < 15^\circ\text{C}$), stabilitását 110°C -on is megőrzi, tehát hőmérsékleti stabilitása nagyobb, mint az 50°C felett bomló ettringit [17, 18]. Ez valószínűleg azzal van összefüggésben, hogy a taumazit azon ritka vegyületek közé tartozik, amelyekben a Si-O kötések koordinációs száma nem a szokásos négy, hanem hat. (Ilyen tulajdonsággal közönséges hőmérsékleten és nyomáson a taumazit kromát és germanát analógján [19] kívül csak néhány szilícium-foszfát rendelkezik.) A hatos (oktaédes) koordináció azért alakul ki, mert a CO_3^{2-} csoportok delokalizálják az erősen polarizált Si^{4+} kationokat, melynek hatására létrejön a $[\text{Si}(\text{OH})_6]^{2-}$ oktaédes koordinációja (4. ábra). Mivel az ettringitben az alumínium oktaédes koordinációjú $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$, a taumazit képződése „vudfordit úton” (3–6. egyenlet) könnyebben megy végbe, mint „közvetlen úton” (1–3. képlet).

Rámutatnak arra is, hogy a hexagonális taumazit és az alacsonyabb szimmetriájú (trigonális) ettringit kristályszerkezete az eltérő kristályosztály ellenére eléggé hasonló ahhoz, hogy szilárd oldatot (vudfordit-sor) képezhessenek. Az elegykristály azonban nem folytonos, ugyanis hiányoznak az elemi cella c-tengelye $11,11\text{--}11,17\text{ \AA}$ síkhálótávolságnak megfelelő XRD reflexiók. Ez fontos lehet a két fázis XRD reflexióinak azonosításakor.

Juel és szerzőtársai [19] nyolc (!) összetevős rendszer (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaSO_4 , CaCO_3 , H_2O) stabilitási körülményeit vizsgálták. Megállapították, hogy

abban primer kiválási tartománnyal rendelkező stabil fázisként C-S-H, portlandit, ettringit, brucit, monoszulfát ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_{12}$), monokarbonát ($\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_{12}$), kalcit, dihidrát és AFm-fázis (aluminát-ferrit-monoszubsztituált, pl. monoszulfát és -karbonát) keletkezhet.

Taumazit azonban csak akkor képződhet stabil vegyületté, ha a szulfátkoncentráció elegendő a primer gipszkiváláshoz. Ezért például AFm-fázisok jelenlétében, mivel elsődleges kiválási tartományuk ennél kisebb szulfáttartalomhoz tartozik, stabil fázisként nem lehet jelen taumazit.

4. ábra. A taumazitstruktúrát stabilizáló töltésselátolás egyszerűsített szemléltetése (δ a negatív aniontöltés eltolódásának szóródását jelzi)
Schematic rendering of charge displacement stabilizer the material-structure of Thaumasite

Purnel és szerzőtársainak vizsgálatai [20] jó példái annak, hogyan lehet tipikusan alap kutatás jellegű vizsgálatoknak gyakorlati jelentősége. Bebizonyították ugyanis, hogy a taumazitképződést olyan másodrendűnek tartott tényezők is befolyásolják, mint az alit polimorfizmusa. Azt tapasztalták, hogy a MgSO_4 oldatban 5°C -on tárolt monoklin alit ($\sim\text{C}_{54}\text{S}_{16}\text{AM}$) – ($\beta\text{-C}_2\text{S}$) keverékben CaCO_3 és Al_2O_3 jelenlétében 100 nap után csak taumazit, ettringit és ezek szilárd oldata (vudfordit) van jelen. Ezzel szemben az ugyanilyen körülmények között tárolt triklin alit jelenlétében a szulfátvegyületek közül kizárólag dihidrát képződése ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) volt kimutatható. S mivel, mint Sas [21] vizsgálatai is igazolták, a klinkerégetés hatást gyakorol az alit polimorfizmusára, a cement „taumazitálóságának” befolyásolására már a kemencében is megvan az elvi lehetőség.

2.2.2.2. A cementfajta hatása a TSA-ra

A különböző cementfajták „taumazitállóságával” kapcsolatos véleményekben elég sok az ellentmondás. Sokan összefüggést látnak a cementgyártás-technológia fejlődésével párhuzamosan növekvő mésztelítés (C_3S -tartalom), valamint az alkálitartalom és a TSA megjelenése között [9-10, 22].

A mészkőtartalmú cementekkel kapcsolatban a TEG-jelentés [10] úgy foglal állást, hogy „a portlandcementben lévő kis mennyiségű (5%-ig) karbonát a kavics- vagy mészkőbetonok teljesítőképességét nem csökkenti”. Ezzel szemben Hill [22], Higgins [23], Crammond [24-25] és szerzőtársaik már ezt a mennyiséget is károsnak tartják, ezért az EN 197-1 szabvány felülvizsgálatát javasolják, elsősorban a mészkőportlandcementekre (CEM II/A-L, CEM II/B-L) vonatkozóan [25]. Ezzel kapcsolatban figyelmet érdemel Smallwood és szerzőtársainak [26] az a megfigyelése is, hogy az alkáli-karbonát-reakció okozta korrózió elősegíti a taumazit képződését.

De nem egységes a kis C_3A -tartalmú szulfátálló portlandcementek megítélése sem. Crammond és szerzőtársai [25-26, 28], valamint Lipus és Sylla [27] szerint jobban ellenállnak a TSA-nak, Nobst és Stark [29] viszont azt állítja, hogy már az e cementekben jelen lévő kisebb mennyiségű alumínát is elősegíti a taumazitképződést.

Megoszlanak a vélemények a pernye befolyásáról is. Crammond és szerzőtársai [24-25] szerint a nagy pernyetartalmú cementek erősen ki vannak téve a taumazit támadásának, Mulenga és Stark [30] viszont úgy találta, hogy még a kevésbé ellenálló mészkőportlandcementeknél is csökkenti a taumazitképződés veszélyét a pernye.

A kohósalak befolyását a kutatók többsége – különösen, ha nagy ez a részarány (30% klinker + 70% kohósalak) – kedvezőnek tartja [10, 24, 27], bár ellenvélemény e vonatkozásban is akad [29-30].

Érdekes, hogy a manapság igen divatos szilikapor hatását sem tartja mindenki kedvezőnek. Az esetenkénti kedvezőtlen viselkedést azzal magyarázzák, hogy a szilikapor puccolános hatása alacsony hőmérsékleten mérsékeltebb [30]. Ezzel ellentétben a nálunk ismeretlen metakaolin és nanoszilikát [30] megítélése egységesen pozitív.

2.2.2.3. Adalékanyag, betontechnológia

Mint erre utaltunk, a tömeges betonkárosodás mészkő- vagy még inkább dolomitbetonoknál jelentkezett [10], ezért az Egyesült Királyságban olyan műszaki irányelveket és szabványokat dolgoztak ki, amelyek a veszélyeztetett helyeken korlátozzák a karbonátos adalékanyagok alkalmazását.

Az sem lehet vita tárgya, hogy a nagyobb cementtartalmú, kisebb víz-cement tényezőjű, jobban tömörített beton a TSA-nak is jobban ellenáll.

Nem ennyire nyilvánvaló az a megfigyelés, hogy a beton előzetes levegőztetése növeli az ellenálló képességét

[10, 25], ami összefüggésben lehet a beton és a talajvíz érintkezési felületén kialakuló pH-val. Ugyanis a levegő szén-dioxid-tartalmának hatására csökkenő OH^- koncentráció növeli a beton ellenálló képességét az ugyanolyan töltésű anionokkal (SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) szemben [9-10].

Összefoglalva és részben magyarázva az ellentmondásokat, a következőket szeretnénk megjegyezni.

- A vizsgálatok igen széles időskálára (pár héttől pár évtizedig) terjednek ki, holott természetesen nem mindegy, mennyi ideig érvényesült a szulfáthatás.
- Ugyancsak különbözött a korrózív hatás előtti szilárdulási idő (0-tól néhány hétig).
- Az eltérő körülmények hatására megváltozhat a pórusvíz pH-ja.
- A szulfátanion melletti kationok különbözősége (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ stb.) is jelentős befolyást gyakorolhat.

Ezért fontos a károsodások vizsgálata természetes körülmények között. E témakörben számos előadás hangzott el.

2.3. Esettanulmányok

A legrészletesebben természetesen a közép-angliai autószertráda műtárgyainak károsodását elemezték. Az erre vonatkozó legfontosabb adatokat a következőkben foglalkozunk össze.

2.3.1. TSA a közép-angliai autószertráda műtárgyain

Az Autószertráda Ügynökség felügyeletével feltárt előfordulásokról tartott előadások nyomán [31-36] még egyszer összegezzük a legfontosabb tudományos és műszaki információkat. (2. táblázat).

(2. táblázat)

TSA a közép-angliai autószertráda-műtárgyakon
Some characteristic data of TSA in concrete structures of highways at the Midland

Körülmények	Jellemzés
Helyszín	Közép-Anglia, M5 (M1, M4) autót
Épült	1968–71
A károsodást felfedezték	1989–91
A károsodás jellemzése	4-5 m mélyen híd vb. oszlop, cölöp, ~ 200 db
Beton	C35-40
Cement	CEM I 42,5 N
v/c	~ 0,4
Adalékanyag	Mészkő, dolomit
Talaj	Alsó-liász, mállott, oxidálódott pirites agyag
Talajvíz	Enyhén szulfátos, pH ~ 8–8,4
A kár jellege	A betonon a talajvíz alatt 30–45 mm fehér pépesedés
Intézkedések	Feltárás, javítás, műszaki irányelv, szabványmódosítás

Az autószerúda-műtárgyak alaposan feltárt példán kívül ismertettet további mintegy harminc károsodást – talán kissé önkényesen – a következők szerint csoportosítottuk.

- a) *Az angliához hasonló „tipikus” TSA.* Ilyen esetek az északi félteke legészakibb országaiban a leggyakoribbak. Iden és Hegela [37] nyolc norvégiai károsodásban találta bűnösnek a TSA-t. A szerkezetek közül négy szulfátos (timsós) agyaggal körülvett acélszál-erősítésű löttbeton, mely 2–13 év elteltével szenvedett károsodást. Idesorolhatunk még néhány kanadai megfigyelést. Thomas és szerzőtársai [38–39] szulfátos talajban lefektetett vízvezetékcső és szulfidos agyagra épült járdakárosodásról tudósítanak. De ezekhez áll legközelebb a Stark [13] által legkorábban azonosított károsodások azon része, melyet szulfidos-szulfátos agyagtalajokban létrehozott műtárgyakon észleltek.
- b) *Alagutak, füst, kipufogógáz hatása.* Külön „családot” alkotnak a vasúti és közúti alagutakban jelentkező károsodások. Iden és Hagela [37] Norvégiában négy ilyen esetről számol be. De szép számmal találni erre svájci példát Rommer és munkatársai [38–39], valamint Németországban Freiburg [40] és Szlovéniában Strupi Šput [41] közleményeiben. Idesorolhatjuk a mi Népstadionunkat is [42], amit szintén megcsapott a mozdony füstje. Erről azonban egy későbbi közleményben részletesebben fogunk beszámolni.
- c) *Tengervíz, egyéb sóoldat hatása.* A sarkvidéktől a Földközi-tenger partjáig bőven találunk példát tengervíz okozta TSA-ra. Északról dél felé kezdjük a felsorolást egy Kanadában árapályhatásnak kitett betonlétesítménnyel [43]. Európában legészakabbra Norvégiában egy tengervízzel is érintkező 5 km-es fjordalagútban szilikapor-tartalmú beton szenvedett károsodást [37]. Már említettük a dél-walesi kikötő lépcsőburkolata ágyazóhabarcsának károsodását [44]. De idesorolhatjuk Németországban azt a sós vizet uszodát, amelynek közép-triász kagylóméshéjből készült fenékbetonját teljesen tönkretette a TSA [45].
Az 1728-ban épült amszterdami csatornahíd tönkremenet mészpuccolán habarcsának károsodásában pedig a szakszerűtlen habarcsjavítás legalább olyan fontos szerepet játszhatott, mint a szél hordta tengervíz sós permete [46]. Nagyjából ugyanez vonatkozik a néhány ezer kilométerrel délkeletre, az anconai (Olaszország) történelmi kikötőnegyedben szakszerűtlenül készített falazóhabarcs károsodására is [47].
- d) *Habarcskárosodások.* A TSA e típusával azért érdemes külön foglalkozni, mert valamennyi közül ezt tekinthetjük legkevésbé földrajzi helyhez kötöttnek. A néhány korábban említett eseten kívül [44, 46] megemlíthetünk még két-két olaszországi [47–48], kaliforniai [50–51] és dél-afrikai [52] példát is. Közöttük előkelő helyet foglalnak el a műemlék épületek falazatainak és habarcsainak szakszerűtlen javításai.

A kötelező objektivitás okán meg kell említenünk, hogy nem mindenki osztotta a TSA-veszéllyel kapcsolatos pesszimiztikus véleményeket. Kételyeit igen szenvedélyesen fogalmazta meg Fountain [53]. Az előadás lakonikus rövidségű címválasztása is sokat sejtet: „*A TSA mítosza*” („*The Mith of TSA*”).

Majd lényegében azt fejté ki, hogy TSA nincs, ugyanis a taumazit csupán a kénsavkorrózió során szélsőséges körülmények közt, másodlagosan, véletlenszerűen keletkező vegyület, az egész kérdés csak akadémikus jellegű, és az 5 cm mélységű pépesedés 30 év alatt nem is olyan sok.

(Két megjegyzés: attól, hogy kénsavkorrózió hozza létre a taumazitot, azért még létezik. Másrészt pedig: hol marad a 10 mm-es vastakarás?)

Majd így folytatja: „A véleményem tehát az, hogy a TSA valójában nem egyéb mítosznál.” Előadását pedig a TEG-jelentésekre célozva így zárja: „A TSA-val kapcsolatos előterjesztések és javaslatok feleslegesek és hatástalanok, hosszabb távon nem hatékonyak, viszont súlyosan megterhelik az ország költségvetését.”

2.4. Összegzés

Ilyen markáns vélemény után nehéz végszót találni saját véleményünk megfogalmazására. Maradjunk talán annyiban: az esetleges TSA miatt nem kell pánikba esni, azonban az európai betonszabványban megkövetelt 50 éves garanciára való tekintettel nem szabad a kérdést a szőnyeg alá söpörni. Már csak azért sem, mert negatív hazai tapasztalataink is vannak. Ezekről és az eddigi kutatási eredményeinkről hamarosan beszámolunk.

Irodalom

- [1] Bensted, J.: ZKG International. 53. k. (12. sz.) 706. old. (2000).
- [2] Fehér B. – Sajó I.: Topographia Mineralogica Hungariae. 8. k. 87. old. (2003).
- [3] Koch S.: Magyarország ásványai. Bp., 1985.
- [4] Herman Ottó Múzeum ásványtára. www.mineral.hermuz.hu/fajok_9.htm - 20k
- [5] www.staffs.ac.uk/schools/sciences/ geography/links/IESR/Publications.html - 104k
- [6] www.crystalstar.org/bbs/New%20Minerals%20abstracts.htm - 75k
- [7] Erlin, B. – Stark, D.: Highway Research Record. 113. sz. 108. old. (1965).
- [8] 1st International Conference on Thaumassite in Cementitious Materials. London, 2001.
- [9] Crammond, N. J.: 1st International Conference on Thaumassite in Cementitious Materials. London. (2001), továbbiakban: 1st Conf.
- [10] Clark, L. A.: Report of the Thaumassite Expert Group, DETR. London, (1999).
- [11] Révay M.: Beton. 9. k. 6. sz. 6. old. (2001).
- [12] Révay M.: Beton. 13. k. 1. sz. 3. old. (2005).
- [13] Stark, D. C.: 1st Conf.
- [14] Clark, L. A.: Thaumassite Expert Group One Year Review. London (2000).
- [15] Clark, L. A.: Thaumassite Expert Group Report: Review after three years experience. London (2002).

- [16] *Barnet, S. J. és tsai:* 1st Conf.
- [17] *Révay M. – Nagy A.-né:* Építőanyag. 30, 473. old. (1968).
- [18] *Bensted, J. – Varma, S. P.:* Silicates Industry. 39. k. 11. old. (1974).
- [19] *Juel, D. és tsai:* 1st Conf.
- [20] *Purnel, P. és tsai:* 1st Conf.
- [21] *Sas L:* 21st. International Conference on Cement Microscopy, Las Vegas, 1999.
- [22] *Hill, J. és tsai:* 1st Conf.
- [23] *Higgins, D. D. – Crammond, N. J.:* 1st Conf.
- [24] *Crammond, N. J. és tsai:* 1st Conf.
- [25] *Crammond, N. J. – Collet, G. W.:* 1st Conf.
- [26] *Smallwood, I. és tsai:* 1st Conf.
- [27] *Lipus, K. – Sylla, H. M.:* 1st Conf.
- [28] *Crammond, N. J. és tsai:* 1st Conf.
- [29] *Nobst, P. – Stark, J.:* 1st Conf.
- [30] *Mulenga, D. M. – Stark, J.:* 1st Conf.
- [31] *Wallace, J.:* 1st Conf.
- [32] *Slater, D. és tsai:* 1st Conf.
- [33] *Floid, M. – Wimpenny, D. E.:* 1st Conf.
- [34] *Gorst, N. S. J. – Clark, L. A.:* 1st Conf.
- [35] *Collard-Jenkins, S. J., és tsai:* 1st Conf.
- [36] *White, S. J. és tsai:* 1st Conf.
- [37] *Iden, I. K. – Hagela, P.:* 1st Conf.
- [38] *Romer, M. és tsai:* 1st Conf.
- [39] *Romer, M.:* 1st Conf.
- [40] *Freiburg, E. – Berninger, A. M.:* 1st Conf.
- [41] *Strupi Šuput, J és tsai:* 1st Conf.
- [42] *Révay M. – Gável V.:* 1st Conf.
- [43] *Thomas, M. D. A és tsai:* 1st Conf.
- [44] *Sibbick, T. és tsai:* 1st Conf.
- [45] *Freiburg, E. – Berninger, A. M.:* 1st Conf.
- [46] *van Hees és tsai:* 1st Conf.
- [47] *Corinaldesi, V. és tsai:* 1st Conf.
- [48] *Veniale, F. és tsai:* 1st Conf.
- [49] *Thomas, M. D. A. és tsai:* 1st Conf.
- [50] *Diamond, S.:* 1st Conf.
- [51] *Oberholster, R. E. és tsai:* 1st Conf.
- [52] *Fountain, E. J.:* 1st Conf.

* * *