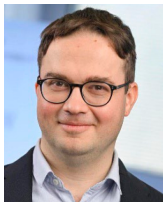


# A DREZDAI CAROLA HÍD ÖSSZEOMLÁSA ÉS A NÉMET HÍDÁLLOMÁNY FENNTARTÁSÁNAK KIHÍVÁSAI



Dr. Boros Vazul

<https://doi.org/10.32969/VB.2026.1.3>

Németország közismerten világ szinten is rendkívül fejlett közlekedési infrastruktúrával rendelkezik, amelynek kiemelt fontosságú alkotóelemeit képezik a közúti hidak. Ezen hidak túlnyomó része vasbeton szerkezetű és jelentős hányada több mint 50 éves, így a megfigyelhető öregedési jelenségek egyre növekvő kihívások elé állítják a német hidászokat. A cikk felvázolja, hogy milyen stratégiát dolgoztak ki a szakemberek a feszültségkorrózió problémakörének kezelésére. Ugyanakkor, mint a drezdai Carola híd összeomlásának példája is mutatja, ez az alaposan felépített eljárási előírás sem képes minden eshetőséget figyelembe venni. Hogy megértsük a történeteket, sorra vesszük az okokat, amelyek a híd összeomlásához vezettek, kezdve a híd történetének, szerkezetének és építésének ismertetésével. Végül kitérünk arra is, hogy mely körülmények összjátékának következtében következett be a katasztrófa. Az okok pontosabb megértése bizonyára segítségre lehet abban, hogy a jövőben hasonló tönkremeneteleket más hidaknál időben meg tudjunk előzni.

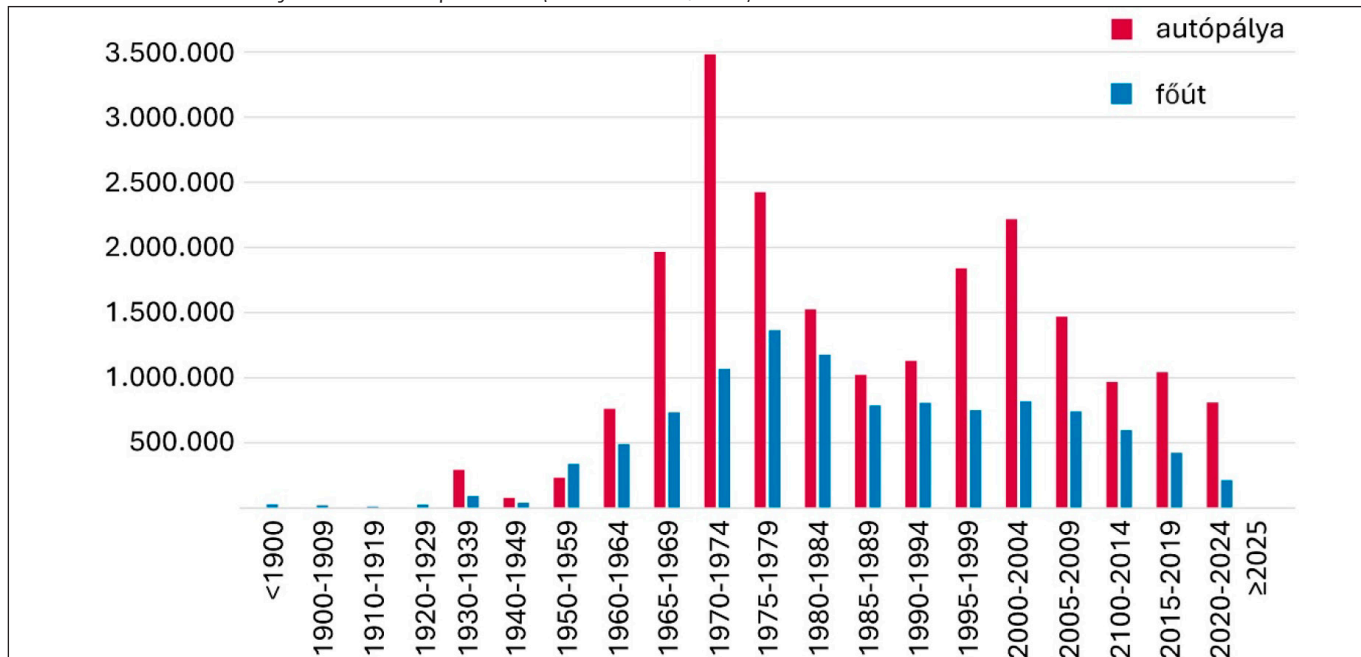
**Kulcsszavak:** hidak, katasztrófa, Carola híd, feszültségkorrózió, utófesztítés

## 1. BEVEZETŐ

A német gazdaság sikerének egyik kulcsa bizonyára a fejlett közlekedési infrastruktúra, így nem meglepő, hogy Németországban, csak a felsőbbrendű úthálózaton több mint 40.000 híd található (Brückenstatistik, 2025). Ezen hidaknak több mint kétharmada feszített vasbeton, közel 18%-a beton, kő vagy fa, 7,2% öszvér és 6,7% acél szerkezetű. Mint az 1. ábra mutatja, ezen műtárgyak egy jelentős része a 60-as vagy 70-es években épült, így a hídállomány tekintélyes hányadánál meg-

figyelhetőek öregedési jelenségek. Az ebből adódó kihívásokat tovább fokozza az a tény, hogy a közúti forgalom, elsősorban a teherforgalom, időközben többszörösére nőtt (Boros, 2024). Ennek megfelelően a hídállomány állapota, melyet a hidak rendszeres időközönként történő osztályozásával mérnek fel, folyamatosan romló tendenciát mutat, bár a legrosszabb állapotot mutató hidak száma is lassan csökken, mivel azokat, amelyek elérnek egy kritikus szintet, szisztematikusan kivonják a forgalomból és újakkal helyettesítik (Brückenstatistik, 2025).

1. ábra: A német hídállomány koreloszlása úttípus szerint (Brückenstatistik, 2025)

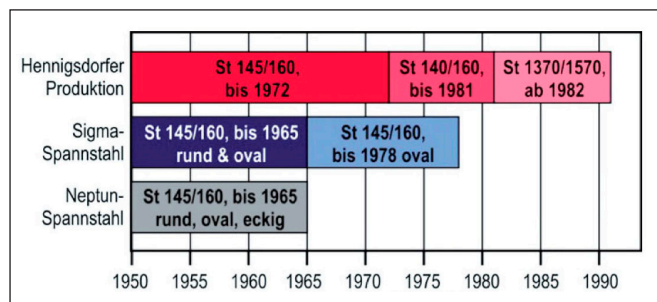


## 2. A FESZÜLTSEGGKORRÓZÍÓ

Az egyik legnagyobb kihívás, amivel a német hidászok a fennálló hídállomány fenntartása kapcsán szembesülnek, a feszültségkorrózió problémaköre. A jelenséget már korábban is dokumentálták, a hídász szakma számára leginkább az Egyesült Államokat megrázó „Silver Bridge” 1967-es katasztrófája kapcsán lett ismert. A híd egyik láncszeme feszültségkorrózió

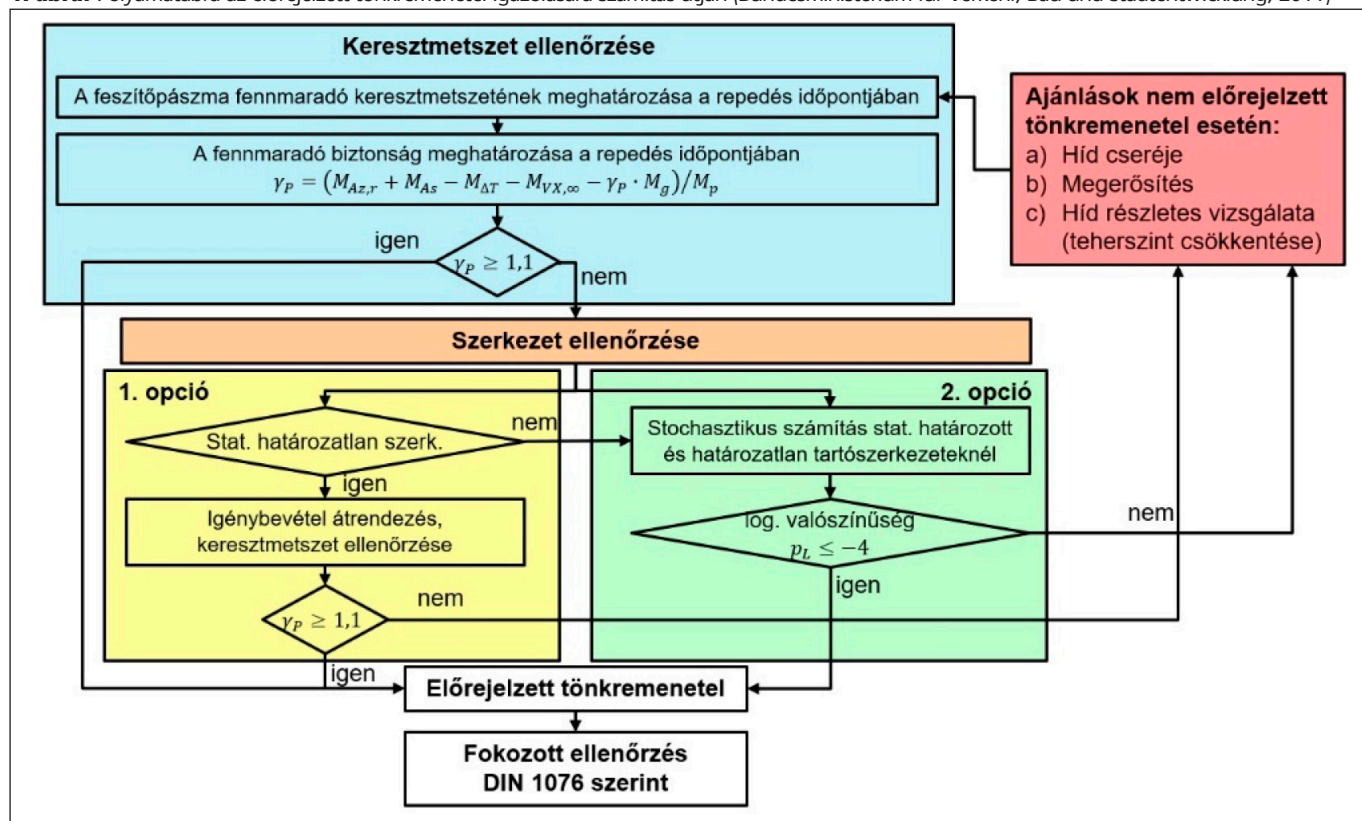


2. ábra: A feszültségkorrózió kialakulásának feltételei (Hickling, 1982)



3. ábra: Feszültségkorrózióra hajlamos feszítő kábelek Németországban (Wilhelm et al., 2015)

4. ábra: Folyamatábra az előrejelzett tönkremenetel igazolására számítás útján (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011)



hatására folyamatosan gyengült, mígnem egy nap az esti csúcsgalamban okozta jelentős teher alatt hirtelen felmondta a szolgálatot 46 emberéletet követelve (Choudhury–Hasnat, 2015). A feszültségkorrózió pontos elektrokémiai háttere nem teljességgel tisztázott, az ismert, hogy alapvetően a 2. ábrában szemléltetett három feltételtől függ és ezek együttes kedvezőtlen fennállása esetén lép fel.

A feszültségkorrózió veszélye Németországban elsősorban a számos feszített vasbeton híd feszítő kábeleit illetően merül fel. Ami az építőanyagot illeti, három olyan feszítő kábel típus ismert Németországban, ami az ötvözet összetételéből és gyártási folyamatból adódóan hajlamos arra, hogy feszültségkorrózió alakulhasson benne ki (Wilhelm et al., 2015). A 3. ábra mutatja ezeket a termékeket, valamint az időszakot, amikor ezeket előállították, illetve alkalmazták Németországban.

Míg az NDK területén szinte kizárólag a henningsdorfi acélból készült feszítő kábeleket alkalmazták, az NSZK-ban a két veszélyeztetett termék mellett számos másik típus is felhasználásra került, amelyek nem tekintendők kritikusnak. Az 1. és 3. ábrákat összevetve szembetűnő, hogy ezeket a feszítő acélokat éppen akkor alkalmazták, amikor a német autópályák hídállományának jelentős része megépült.

Az már magából a feszítés technológiájából következik, hogy ezek a kábelek a híd építésétől kezdve jelentős húzófeszültségeket kell felvegyenek, így azoknál a feszített vasbeton hidaknál, ahol a felsorolt termékek valamelyikét alkalmazták, a feszítő kábelek közege az építés közben, illetve a beépítés után határozza meg azt, hogy ki tud-e alakulni feszültségkorrózió. Mivel erről gyakran csak hiányos információ áll rendelkezésre, ezek a hidak minden esetben gondos felülvizsgálatra szorulnak. Ebből a célból a német Közlekedési Minisztérium kidolgozott, egy eljárási előírást (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011), hogy miként kell ezeknél a veszélyeztetett hidaknál megítélni az állóképességet. Egy kétlépcsős folyamat részeként először a keresztmetszet

szintjén igyekeznek igazolni, hogy amikor a keresztmetszet már jelentős repedéseket mutat, a fennmaradó feszítőpázmák ellenállása még elegendő ahhoz, hogy ne következzen be hirtelen a tönkremenetel.

Amennyiben ez nem sikerül, az eljárási előírás lehetőséget ad arra, hogy a szerkezet szintjén teljesüljön az a kritérium, hogy egy közlő tönkremenetelt repedések vagy jelentős alakváltozások jeleznek elő. A 4. ábrában felvázolt folyamatábra szemlélteti az eljárási előírás által megfogalmazott lehetséges és szükséges lépéseket.

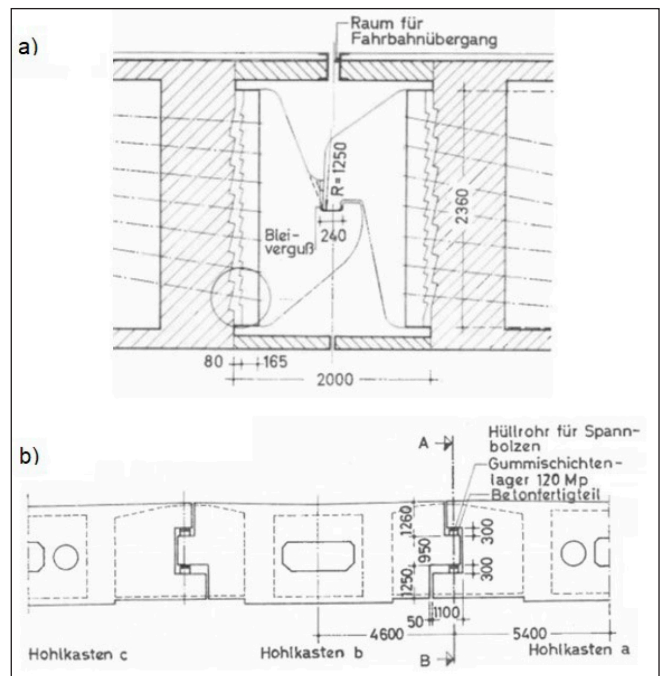
Egy kutatás során kielemezték 121 híd ellenőrzésének az eredményeit (Fischer et al. 2014). Ezek közül 24 híd esetében, azaz közel az esetek 20%-ában, állt fenn a feszültségkorrózió veszélye. Az esetek felében az eljárási előírásnak megfelelően igazolható volt, hogy a tönkremenetel nem előrejelzés nélkül következik be, 8 esetben ez nem volt lehetséges, míg a fennmaradó esetekben nincs adat.

### 3. A DREZDAI CAROLA HÍD TÖR-TÉNETE ÉS SZERKEZETE

Az első drezdai Carola hidat 1895-ben építették. Az Elbát ekkor három vasszerkezetű, hozzávetőleg 55 m fesztváú ívvel hidalták át. Ezt az első hidat azonban, sok másikhóhasonlóan, a második világháború végén felrobbantották.

Csak 1965-ben került sor a híd pótlására, amikor is, az NSZK-ban kivételesnek számító módon, tervpályázatot írtak ki az új híd tervezésére. Összesen 11 csapat pályázott, 9 feszített vasbeton és 4 acél szerkezetű javaslatot benyújtva (Scheerer et al., 2025). A győztes csapat, aki a drezdai Thürmer és Spoelgen párosból állt, három különböző tervet is beadott. A fő értékelési kritériumok között szerepelt a külső forma (többek között a fesztvávok harmóniája, a karcsúság, az óvárosi oldalra nyíló kilátás megőrzése), a költségek és az anyagfelhasználás. Az új hidat végül 1971-ben avatták fel Dr. Rudolf Friedrich híd néven és csak 1991-ben keresztelték vissza ismét Carola hídra.

Az elődjével ellentétben az új híd esetében az óváros felőli oldalon egy pillért visszabontottak, hogy ezáltal megkönnyít-sék a hajóforgalmat, az Elbának ebben a szűk kanyarulatában. Az így kialakult 120 m hosszú nyílásköz jelentős kihívások elé állította a tervezőket. Végül egy Gerber-tartós megoldást választottak, egy 64 m hosszú befüggesztett résszel, amely



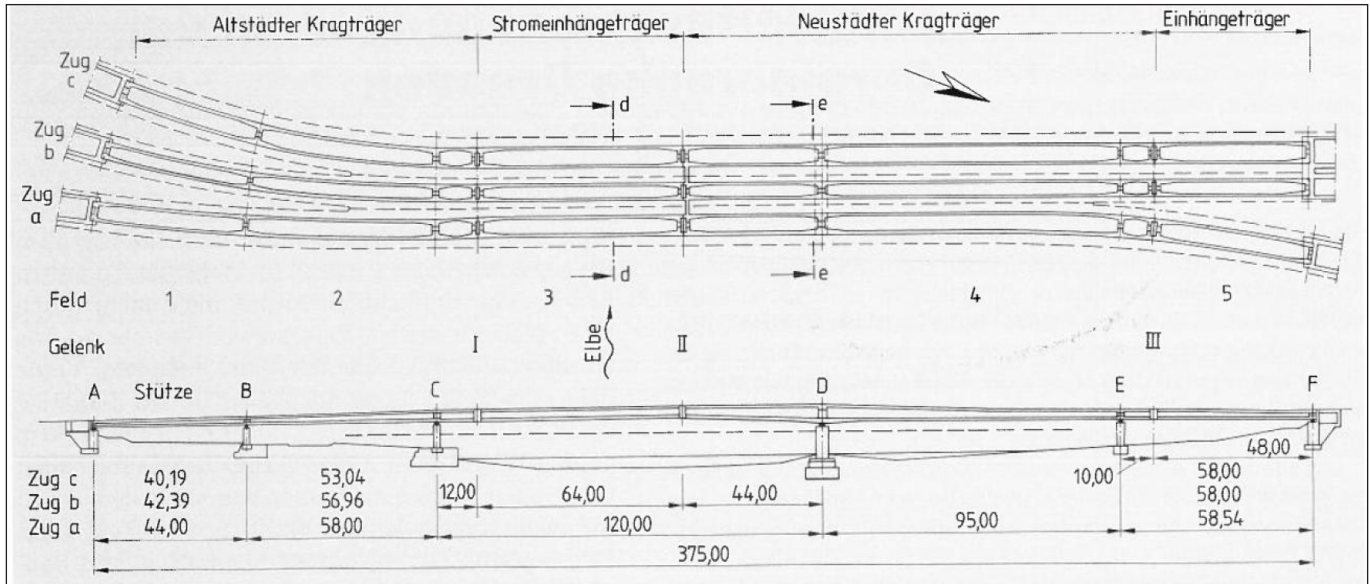
6. ábra: A híd hosszirányú a) és keresztirányú b) csuklója (Berger–Franke–Thürmer, 1971)

a D jelű támasznál egy 44 m hosszú konzolon nyugszik. Ez a konstrukció jól kivehető a híd terveit tartalmazó 5. ábrán.

Ez a különleges megoldás azt követelte meg, hogy a feszítő kábelek egy részét csak a befüggesztett mederhíd beakasztása után feszítsék meg, hogy azok fel tudják venni az így keletkező jelentős támasznyomatékokat. A szükséges feszítő kötegeket ugyanakkor már a konzolos tartók gyártása során beépítet-ték, de csak a befüggesztett rész beakasztása után lehetett őket megfeszíteni, így ezek a feszítő kötegek hosszabb ideig szabadon (injektálás nélkül) feküdtek a kábelburkolócsőben. A pályázati kiírás korlátozta a híd karcsúságát is. A jelentős mennyiségű feszítő köteg mellett nyomott betonacélra is szükség volt, amely a keresztmetszet 4%-át (toldásnál 8%-át) tette ki 70 m hosszan.

Ebből a tartószerkezetből adódóan a hídon mind hossz-, mind keresztirányban csuklókat építettek be (6. ábra). A hossz-irányú csuklók értelemszerűen a befüggesztett mederhíd két végén helyezkednek el. A keresztirányú csuklókra azért volt szükség, hogy a három egymással párhuzamos híd közti ma-

5. ábra: A híd felülnézetben és hosszmetsetben (Berger–Franke–Thürmer, 1971)



gasságkülönbségeket kiegyenlítsék. Talán még említésre méltó, hogy az „a” és „b” jelű hidakon csak közúti forgalom zajlott két-két sávban, míg a „c” jelű hídon közlekedett a villamos két sínpáron, de itt kaptak helyet a gyalogosok és biciklisek, továbbá a szekrénytartó belsejében a távhővezetékek is.

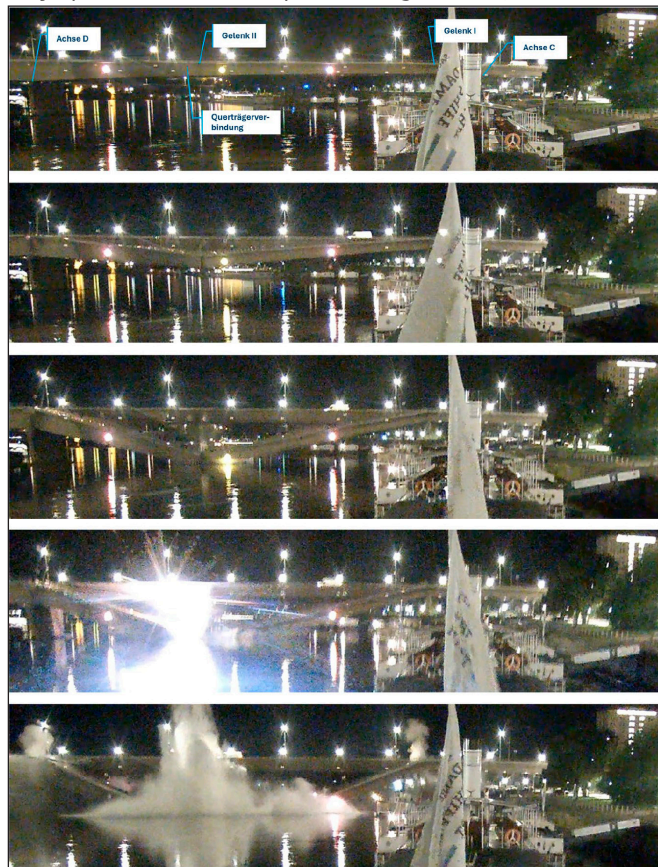
## 4. A DREZDAI CAROLA HÍD ÖSSZEOMLÁSA

2024 szeptember 11-én éjjel, kicsivel három óra előtt, a „c” jelű hid Elba feletti része hirtelen összeomlott. Annak ellenére, hogy egy villamos nyolc perccel korábban haladt át a hídon, a szerencsétlenség pillanatában senki sem tartózkodott a hídon, így az összeomlásnak nem volt sem sérültje, sem halálos áldozata. A katasztrófát több térfényképező kamera is rögzítette, így a pontos lefolyása ismert (Marx et al., 2025). A 7. ábra tartalmazza az egyik ilyen felvétel alapján az összeomlás folyamatának legmeghatározóbb pillanatait. Látható, hogy a híd a D jelű támasz felett hasadt ketté, majd a konzol a folyóba fordul, magával rántva a befüggesztett részt, mely miután becsapódik a mederbe szintén ketté törik.

A hidat azonnal lezárták és nyomban megkezdődtek a vizsgálatok az összeomlás okainak feltárására. A Szövetségi Anyagkutató és Vizsgáló Intézet (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM) munkatársai az alább felsorolt vizsgálatokat végezték a hídon (Marx Korntal und Partner, 2025a):

- feszítő köteg feltárása (11 keresztmetszetben),
- nyomott zóna vizsgálata (4 keresztmetszetben),
- mágneses remanencia (5 hídszakaszon),
- csukló vizsgálata és
- repedésvizsgálat (10 keresztmetszetben).

7. ábra: A híd összeomlása (Marx et al. 2025);  
Fényképek: © Sächsische Dampfschiffahrtsgesellschaft



Mivel ismert volt, hogy a Carola híd esetén is a henningsdorfi, feszültségkorrózióra hajlamos feszítő kábelek kerültek felhasználásra, kezdettől fogva alaposan kielemezték, hogy ez mennyiben járult hozzá a híd váratlan tönkremeneteléhez. Itt érdemes megjegyezni, hogy a Carola hídnál is elvégezték 2003-ban a már korábban ismertetett számításokat és akkor arra jutottak, hogy már keresztmetszeti szinten, egy rövid szakasz kivételével, igazolható az előre jelzett tönkremenetel. Ennek ellenére, már közvetlenül a katasztrófa után a D jelű támasz ketté hasadt hídfelszerkezeténél arra utaló jeleket találtak, hogy a feszítő kötegek jelentős korróziós hatásnak voltak kitéve (Scheerer et al. 2025). A keresztmetszetben ketté szakadt feszítő pászmák felülete többnyire fémesen csillogott ott, ahol ketté váltak, ám a pászmák egy jelentős részénél már ezt a felületet is rozsdaréteg borította, egyértelművé téve, hogy ezek a pászmák már sokkal korábban elszakadtak és régóta nem vettek részt a teherbírában.

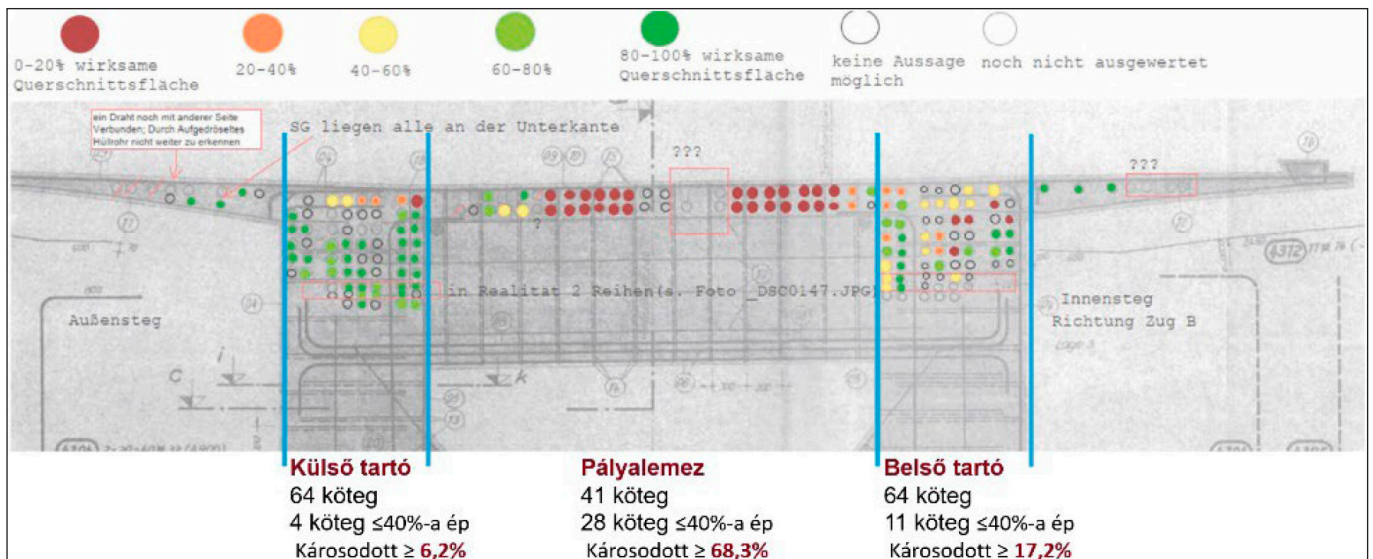
Ezt a jelenséget az egyes feszítő kötegekre lebontva szisztematikusan is megvizsgálták és arra a következtetésre jutottak, hogy a különböző elhelyezkedésű, illetve célú kötegek között jelentős különbségek figyelhetők meg. Ezt a 8. ábra szemlélteti.

Szembetűnő, hogy a pályalemezben elhelyezkedő feszítő kötegek esetén igen magas az elkorrodált pászmák aránya, míg a főtartókban fekvő kötegek esetében jóval kedvezőbb a helyzet. Véltetően nem véletlen, hogy ezek éppen azok a feszítő kábelek, melyeket csak a befüggesztett mederhíd beakasztása után feszítettek meg és melyek így sokáig szabadon feküdtek a kábelburkolócsőben.

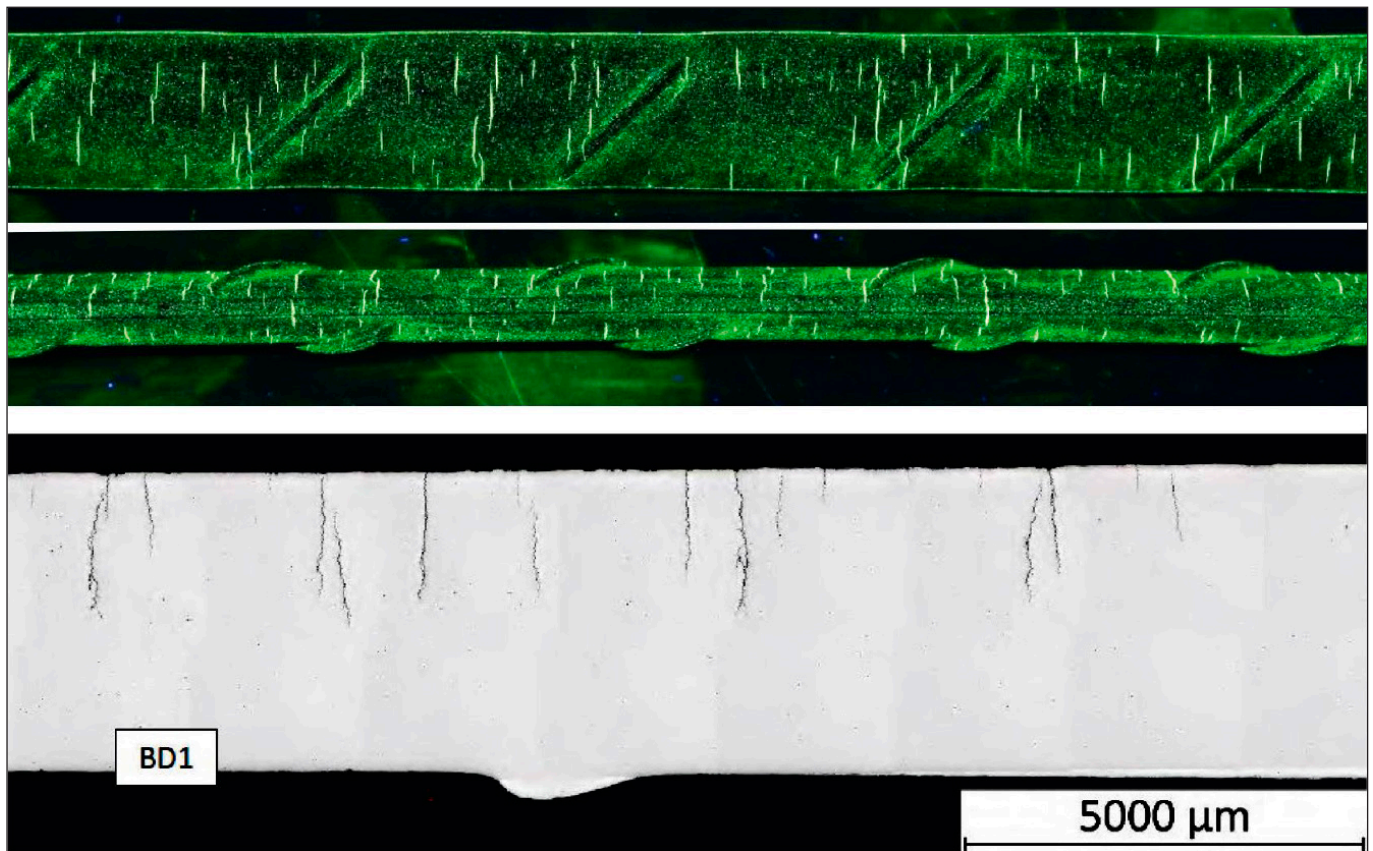
A feszítő pászmákat természetesen nemcsak helyszíni szemrevételezéssel, hanem a laborban is megvizsgálták. A fluoreszkáló mágnesporral, illetve hosszanti csiszolással végzett repedésvizsgálat eredményei egy jellemző feszültségkorrózió által károsult minta példáján a 9. ábra mutatja be. Jól láthatóak a jellemző sűrű repedések a felületen, de egyben az is látszik, hogy a repedések mélysége is gyakran jelentős.

Mindezek tükrében nem meglepő, hogy a vizsgálatok arra az eredményre jutottak, hogy a híd összeomlása elsősorban a feszültségkorrózió nyomán jelentősen meggyengült feszítő kötegek tönkremenetelére vezethető vissza (Marx Korntal und Partner, 2025b). Mindazonáltal felmerül a kérdés, hogy ez esetben miért nem kísérték ezt a fokozatos állapotromlást jelentős alakváltozások vagy repedések, illetve, hogy miért pont akkor következett be a katasztrófa, amikor a hídon tulajdonképpen nem volt hasznos terhelés?

A szakvélemény arra a következtetésre jut, hogy a híd tönkremenetelének közvetlen kiváltó oka feltehetően az akkor bekövetkezett, hirtelen fellépő hőmérséklet zuhanásban keresendő, hiszen pár nap alatt közel 15 °C-ot csökkent a levegő hőmérséklete Drezdában (Marx Korntal und Partner 2025b). Minden jel arra utal, hogy a pályalemezben fekvő, utólag megfeszített kábelek az építés során olyan közegben voltak, amely kedvezett a feszültségkorrózió kialakulásának és így igen korán, talán már közvetlenül a híd megépítését követő időszakban, fokozatosan elszakadtak. Bár a fennmaradó kábelek ezáltal erősen túl lettek terhelve, a híd mégsem mutatott jelentős alakváltozásokat, mivel a keresztirányú csuklók révén képes volt a teher egy részét átadni a szomszédos „b” jelű hídnak. Csakhogy a hirtelen bekövetkezett hőmérséklet zuhanás hatására a „c” jelű híd, amely azáltal, hogy villamospályát hordozva nem kapott aszfaltréteget, mint a másik két felszerkezet, gyorsabban emelkedett meg, mint a társai és így egyre kevésbé tudott a szomszédos tartószerkezetre támaszkodni. Mivel a



8. ábra: A korrózió által károsodott pászmák aránya D jelű támasznál az egyes feszítő kötegekre lebontva (Scheerer et al., 2025)



9. ábra: A feszítő pászmák repedésvizsgálata fluoreszkáló mágnessporral (fent) és hosszanti csiszolással (lent) (Marx Korntal und Partner, 2025a)

jelentős károk hatására nem volt képes az így egyedül rá neheződő terheket felvenni, a mértékadó keresztmetszetben a D jelű támasz felett széthasadt majd összeomlott.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Németországban a jelentős hídállomány komoly kihívások elé állítja a közút kezelőket, hiszen a hidak tekintélyes hányada a 60-as vagy 70-es években épült és ezeknél a műtárgyaknál egyre inkább megfigyelhetőek öregedési jelenségek. Az egyik legsúlyosabb nehézség, ami felmerül a feszültségkorrózió problémaköre. Tekintve, hogy Németországban három gyakran alkalmazott feszítő acél típusról is kiderült, hogy feszültségkorrózióra hajlamos, kidolgoztak egy eljárási előírást, ami azt hivatott igazolni, hogy a híd esetleges tönkremenetele ennek ellenére nem előrejelzés nélkül következik be.

A Carola híd 2024 szeptember 11-én bekövetkezett összeomlását követő vizsgálatok, arra a következtetésre jutottak, hogy nagy valószínűséggel ez a szerencsétlenség is elsősorban a feszültségkorrózióra vezethető vissza. Bár vélhetően a híd iránt támasztott rendkívüli követelményekből adódó különleges konstrukció is komoly szerepet játszott abban, hogy a várakozásokkal ellentétben a feszítő kötegek jelentős hányadának elszakadása nem párosult olyan alakváltozással, amely a közelgő katasztrófát előre jelezte volna. Végül a híd tönkremenetelének közvetlen kiváltó oka feltehetően a hirtelen fellépő hőmérséklet zuhanásban keresendő.

## 6. HIVATOKOZÁSOK

Berger R., Franke M., Thürmer E. (1971): Projektierung der Dr.-Rudolfs-Friedrich-Brücke. Die Straße 11 Heft 6, pp. 266–277.

- Boros V. (2024): Közúti terhek statisztikai alapú meghatározása Németországban az Eurocode szerint – hazai alkalmazás lehetőségei. Hidász Napok, 2024 június 11-13. Siófok. Lánchíd füzetek 40.154-170. <https://hidak.hu/2024/10/06/hidasz-napok-2024-eloadasainak-gyujtemeny/>
- Brückenstatistik (2025): Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. [https://www.bast.de/DE/Themen/Digitales/HF\\_4/Massnahmen/brueckenstatistik/brueckenstatistik.html](https://www.bast.de/DE/Themen/Digitales/HF_4/Massnahmen/brueckenstatistik/brueckenstatistik.html)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosion sgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion). [https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Entwurf/BEM-ING\\_node.html](https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Entwurf/BEM-ING_node.html)
- Choudhury J. Z., Hasnat A. (2015): Bridge collapses around the world: Causes and mechanisms. IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21-22, 2015, Dhaka, Bangladesh. pp. 26-34.
- Fischer O., Müller A., Lechner T., Wild M., Kessner K. (2014): Ergebnisse und Erkenntnisse zu durchgeführten Nachrechnungen von Betonbrücken in Deutschland. Beton- und Stahlbetonbau 109 Heft 2, pp. 107-127, DOI: <https://doi.org/10.1002/best.201300084>
- Hickling J. (1982): Dehnungsinduzierte Ribkorrosion: Spannungsrißkorrosion oder Schwingungsrißkorrosion? Der Maschinenschaden 55. Nr. 2, pp. 95–105.
- Marx Korntal und Partner (2025a): Carolabrücke - Gutachterliche Leistungen Ursache des Teileinsturzes Zug C - Anlage zum Gutachten - Bauwerksdiagnostik Untersuchungsbericht für Zug A, B und C. 29.04.2025, Dresden. <https://www.dresden.de/de/stadtraum/zentrale-projekte/carolabruecke/einsturz.php>
- Marx Korntal und Partner (2025b): Carolabrücke - Gutachterliche Leistungen Ursache des Teileinsturzes Zug C - Gutachten zur Ursache des Teileinsturzes Zug C. 31.03.2025, Dresden. <https://www.dresden.de/de/stadtraum/zentrale-projekte/carolabruecke/einsturz.php>
- Marx S., Scheerer S., Schacht G., Fiedler M., Ritter R., Clages L., Voigt C., Czeschka D., Ebell G., Marzahn G. (2025): Einsturz der Carolabrücke in Dresden Teil 1. Beton- und Stahlbetonbau, 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1002/best.202500029>
- Scheerer S., Schacht G., Fiedler M., Ritter R., Marx S., Ebell G., Marzahn G. (2025): Die wechselvolle Geschichte der Carolabrücke in Dresden. 34. Dresdner Brückenbausymposium, 19-20 März 2015, Dresden. pp. 15-33. [d-nb.info/1365540723/34](https://doi.org/10.1002/best.201400054)
- Wilhelm T., Scheerer S., Hampel T., Bauer Th., Müller M. (2015): Materialuntersuchungen an Hennigsdorfer Spannstahl aus Brückenbauwerken. Bautechnik 92 Heft 2, pp. 93-104, DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.201400054>

**Dr. Boros Vazul** (1983) a BME-n szerzett építőmérnöki diplomát, majd 2012-ben doktorált a Stuttgarter Egyetemen. Majd egy évtizeden át tervező mérnökként hidak tervezésével, ellenőrzésével, megerősítésével és monitoringjával valamint magas- és vízépítéssel foglalkozott Németországban. 2022-óta az Austrian Institute of Technology (AIT) vezető kutatómérnöke, szakterületei közé tartozik a hidak és más infrastrukturális műtárgyak vizsgálata, tehermodellek kialakítása és a fenntarthatóság.

### **The collapse of the Carola Bridge in Dresden and the general challenges of bridge maintenance in Germany** **Vazul Boros**

Germany is known worldwide for its highly developed transport infrastructure, in which highway bridges represent key links. The vast majority of these bridges are reinforced concrete structures, and a significant proportion of them are more than 50 years old, so the signs of ageing are posing increasing challenges for German bridge engineers. The paper outlines the strategy developed by experts to address the problem of hydrogen induced stress corrosion cracking. However, as the collapse of the Carola Bridge in Dresden shows, even these carefully developed specifications cannot take every possibility into account. To comprehend the chain of events, we will examine the causes that led to the collapse of the bridge, starting with a description of its history, structure, and construction. Finally, we will also discuss the combination of special circumstances that led to the disaster. A more precise understanding of the causes will certainly help us to prevent collapses of other similar bridges in the future.