

30. ročník konference "Železniční mosty a tunely 2026"

22. ledna 2026, O2 universum, Českomoravská 2345/17, 190 00 Praha 9 – Libeň



MANAŽÉR
ŽELEZNIČNEJ
INFRAŠTRUKTÚRY

Klenbové železničné mosty v sieti ŽSR: Kultúrne dedičstvo a technické výzvy historických konštrukcií

Ing. Ondrej KRIDLA; prof. Ing. Peter KOTEŠ, PhD.;

Ing. Patrik KOTULA, PhD. , Ing. Branislav VAVÁK

OBSAH

1. Úvod
2. Historický vývoj geometrického tvaru klenbových mostov
3. Štatistika klenbových mostov v sieti ŽSR
4. Chyby a poruchy klenbových mostov
5. Numerická analýza klenbových mostov
6. Experimentálna analýza klenbových mostov – in situ
7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu
8. Záver

1. Úvod

Kamenné, tehlové a betónové klenbové mosty tvoria významnú súčasť železničnej infraštruktúry ŽSR. Napriek veku presahujúcemu storočie si zachovávajú vysokú spoľahlivosť aj pri súčasných nárokoch na prevádzku. Mnohé klenbové mosty sú technickými pamiatkami, čo si vyžaduje citlivý prístup k ich údržbe, rekonštrukcii a zosilneniu.

Skúsenosti poukazujú na potrebu presnejších výpočtových prístupov, ktoré umožňujú lepšie posúdenie zaťažiteľnosti a optimalizáciu údržby historických mostov ako súčasti kultúrneho dedičstva.

Článok sa venuje stavu týchto konštrukcií v národnom aj európskom kontexte, prezentuje možnosti numerickej analýzy (napr. LimitState Ring, ATENA) a možnosti experimentálneho overovania ich odolnosti.

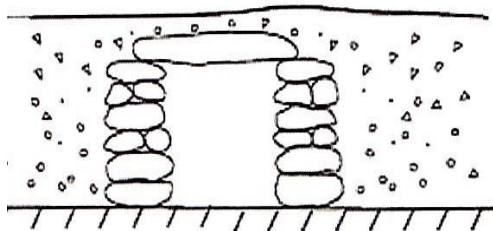
2. Historický vývoj geometrického tvaru klenbových mostov

Klenbové mosty sú priestorové nosné konštrukcie používané už od staroveku.

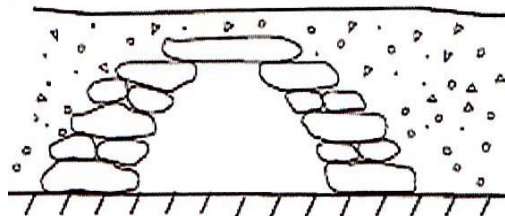
Na našom území sa klenby začali používať v 9. storočí ako súčasť rozmachu murovaných konštrukcií v stavitelstve.

Klenbové mosty napriek svojmu pokročilému veku (niekedy viac ako 100 rokov) stále spoľahlivo slúžia svojmu účelu, a to aj pri zvýšených nárokoch súčasnej železničnej respektíve cestnej prevádzky.

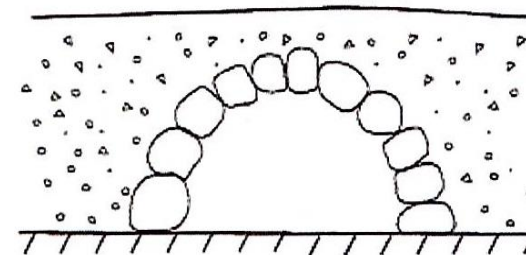
Pred objavením tvaru klenby sa na premostenie používala nepravá klenba alebo kamenná doska.



Obr. 1: Kamenná doska

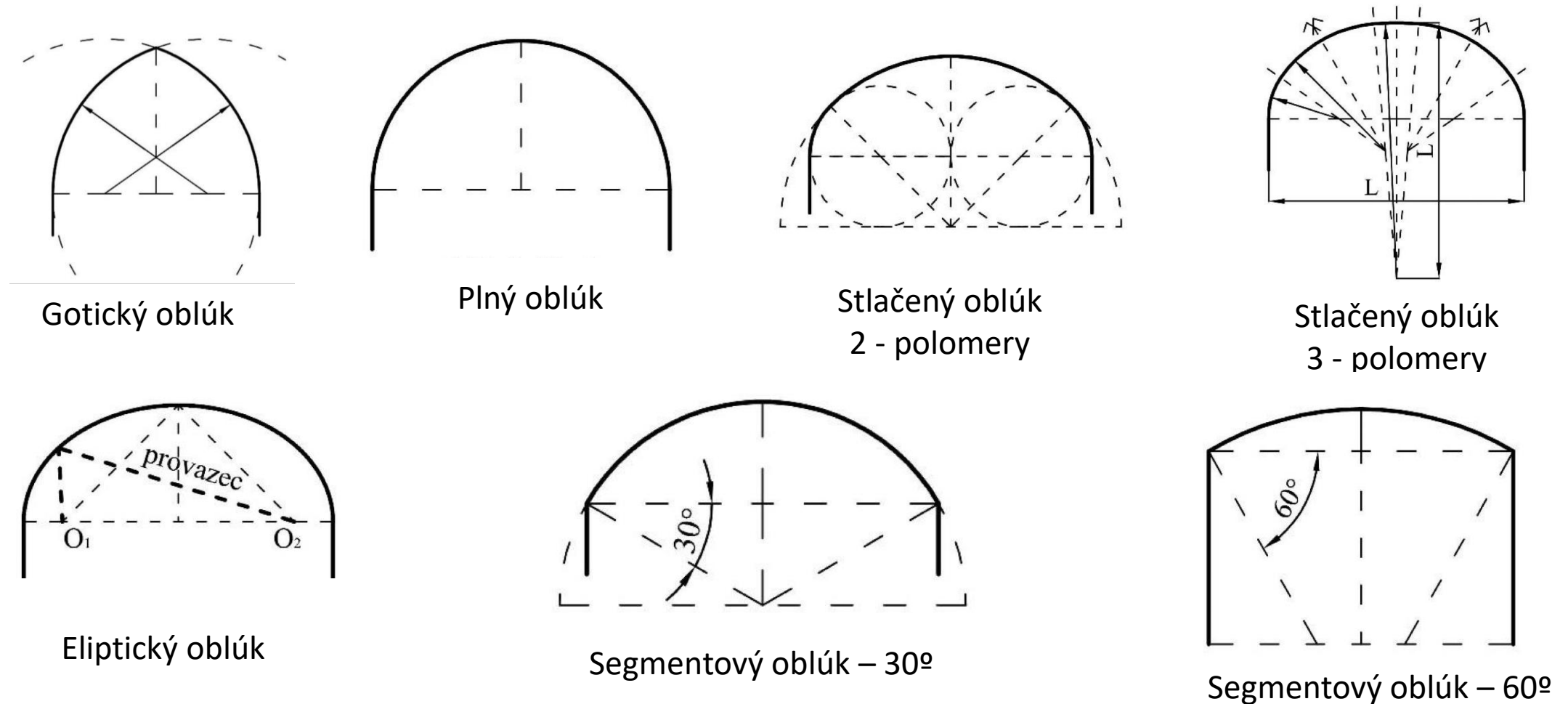


Obr. 2: Nepravá klenba



Obr. 3: Pravá klenba

2. Historický vývoj geometrického tvaru klenbových mostov

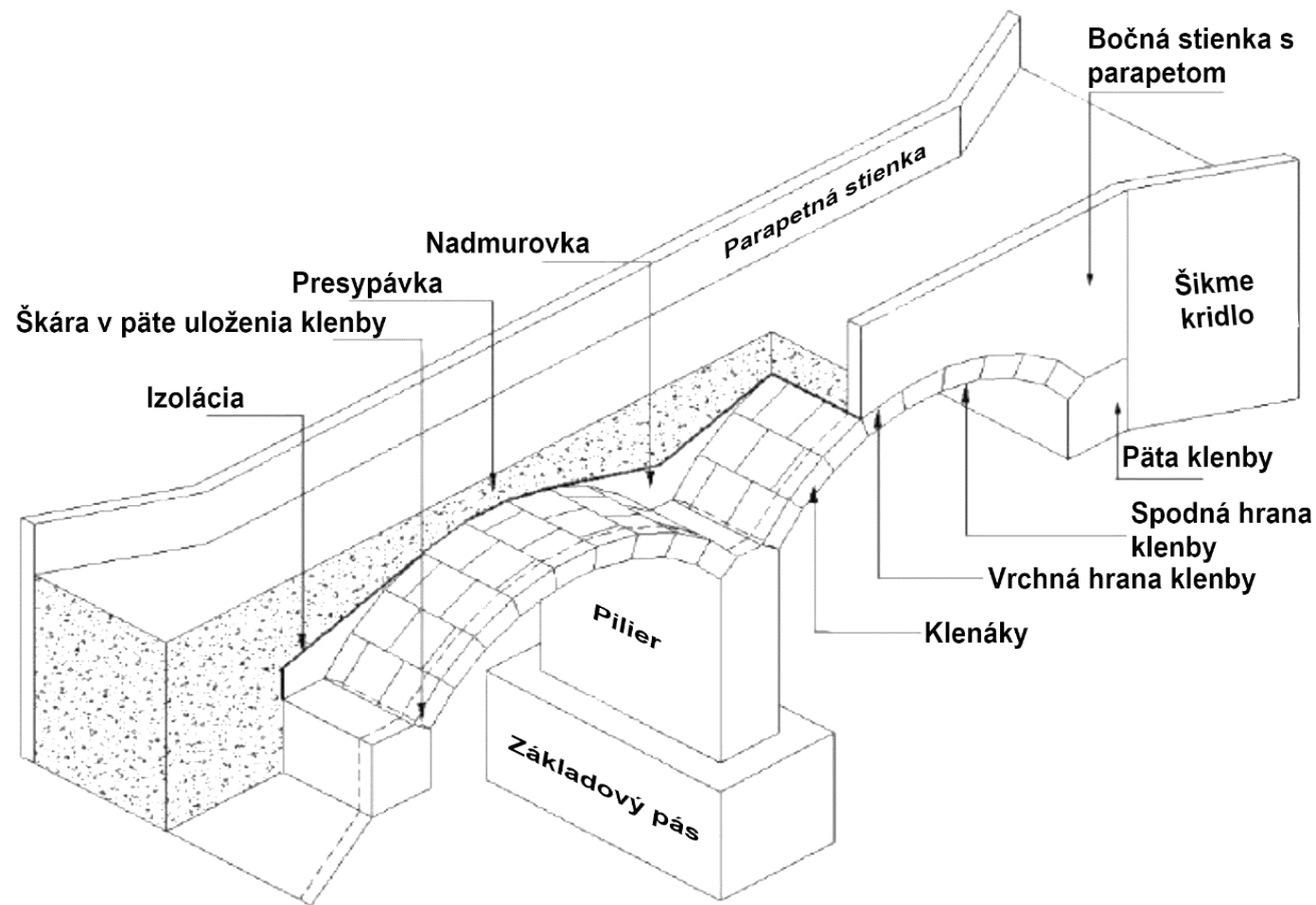


Obr. 4: Prehľad geometrických tvarov klenieb.

2. Historický vývoj geometrického tvaru klenbových mostov

Klenba je základná časť klenbového mosta. Môže byť vybudovaná z opracovaného kameňa s tenkými škárami, z hrubo opracovaného kameňa so širšími škárami, (kamenné kopáky), alebo z lomového kameňa prípadne z tehál. Klenba vybudovaná z tehál, má spravidla viaceré vrstvy (závisí to od jej svetlosti).

Od roku 1930 sa v našich podmienkach začal využívať na výstavbu klenieb aj betón a železobetón.



Obr. 5: Názvoslovie častí klenbových mostov.

3. Štatistika klenbových mostov v sieti ŽSR

Prehľad vybraných murovaných a betónových klenbových mostov v tratiach ŽSR:

- materiál klenby: tehla – 60 ks, kameň – 124 ks, betón – 195 ks, **spolu : 379 ks.**

Tab. 1 Prehľad zastúpenia železničných mostov podľa svetlosti klenby

Svetlosť L [m]	Počet mostov podľa materiálu klenby		
	Tehla [%]	Kameň [%]	Betón [%]
2,01 < L ≤ 3,0	30,00	43,55	33,33
3,01 < L ≤ 4,0	16,67	33,06	34,87
4,01 < L ≤ 6,0	25,00	19,35	19,49
6,01 < L ≤ 9,0	13,33	4,03	7,69
9,01 < L	15,00	0,00	4,62

3. Štatistika klenbových mostov v sieti ŽSR

Tab. 2: Prehľad železničných mostov podľa počtu klenieb vyjadrený v percentuálnom vyjadrení v závislosti od materiálu klenieb.

Počet polí mosta	Mosty podľa materiálu klenby		
	Tehla [%]	Kameň [%]	Betón [%]
1 pole	88,33	99,19	98,46
2 polia	5,00	0,81	0,51
3 a viac polí	6,67	0,00	1,03

3. Štatistika klenbových mostov v sieti ŽSR

Tab. 3 Hodnotenie celkového stavu mostných objektov podľa ŽSR TS 5:Správa mostných objektov. ŽSR, Bratislava (2020) v percentuálnom vyjadrení v závislosti od materiálu klenieb.

Hodnotenie klenby mosta podľa TS 5	Mosty podľa materiálu oblúka		
	Tehla [%]	Kameň [%]	Betón [%]
1. Stupeň – stav výborný	13,33	33,33	6,66
2. Stupeň – stav dobrý	56,67	36,67	84,62
3. Stupeň – stav vyhovujúci	16,67	28,33	4,10
4. Stupeň – stav obmedzujúci	13,33	1,97	4,62
5. Stupeň – stav nevyhovujúci	0	0	0

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Rozdelenie porúch klenbových mostov:

1. Poruchy základov:
 - a. Poruchy materiálu základu.
 - b. Poruchy podložia základu.

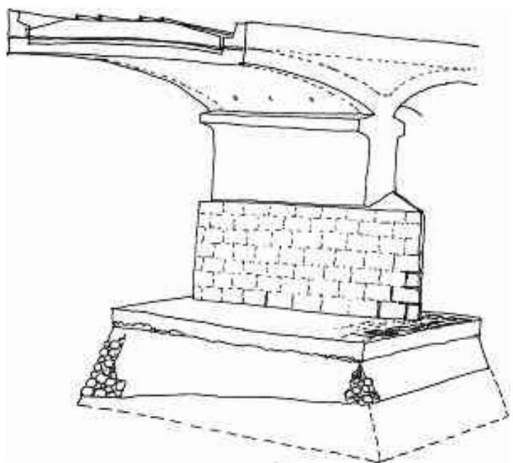
2. Poruchy konštrukcie:
 - a. Poruchy ovplyvňujúce odolnosť konštrukcie.
 - b. Poruchy ovplyvňujúce životnosť konštrukcie.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

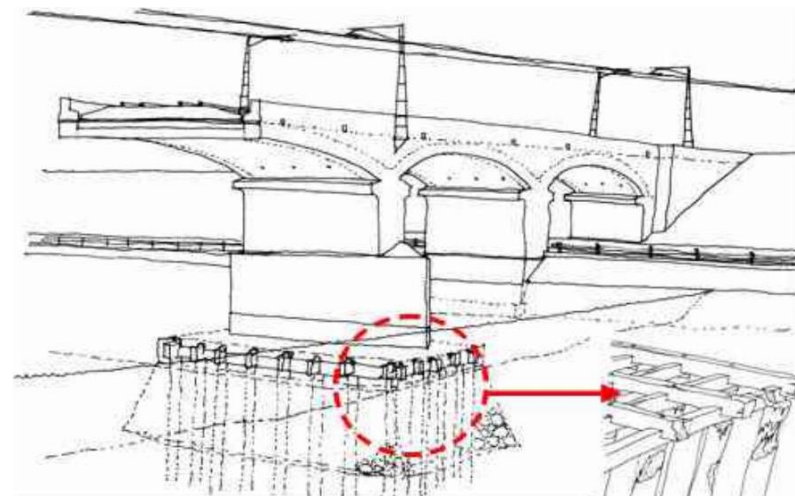
Poruchy základov:

a. Poruchy materiálu základov:

- degradácia betónu, škárovania murovacích prvkov, hniloba drevených pilót vplyvom agresívneho prostredia.



Obr. 6: Degradácia betónu základu piliera.



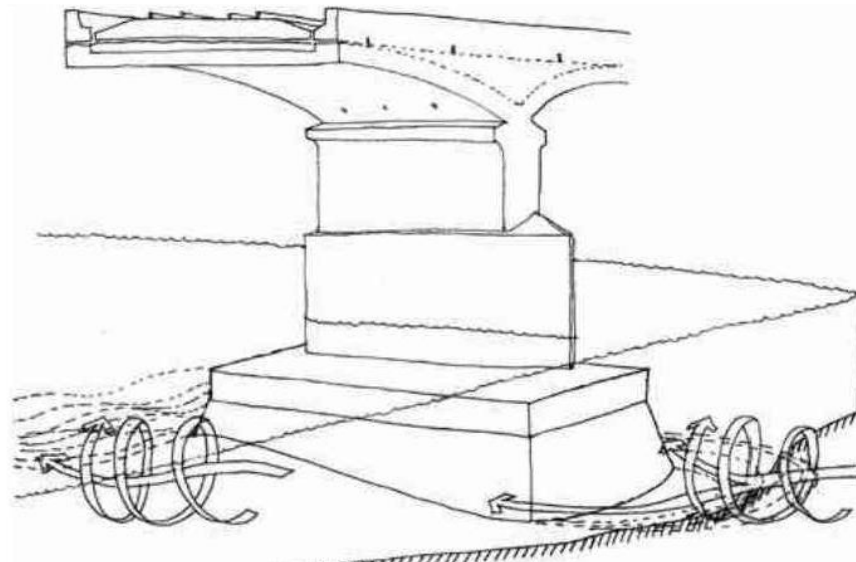
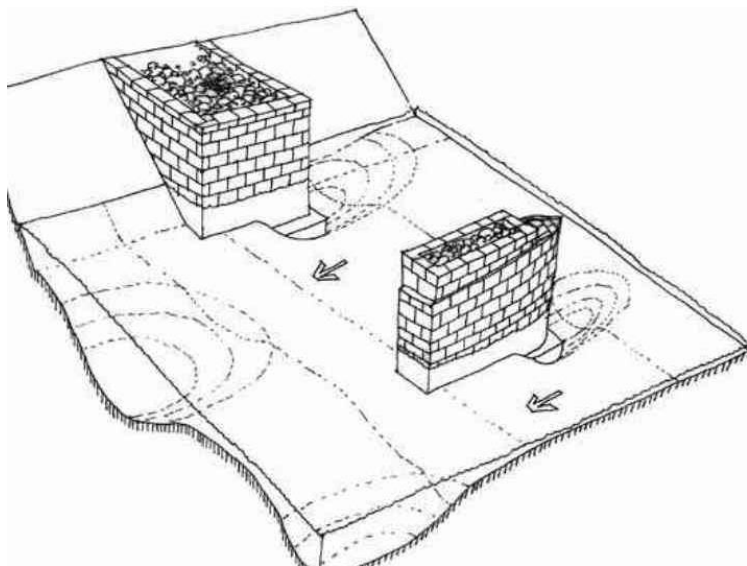
Obr. 7: Poškodené drevených pilot základu piliera.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Poruchy základov:

b. Poruchy podložia základov :

- rôzne zásahy do koryta vodných tokov, turbulencie a následná erózna činnosť vody.

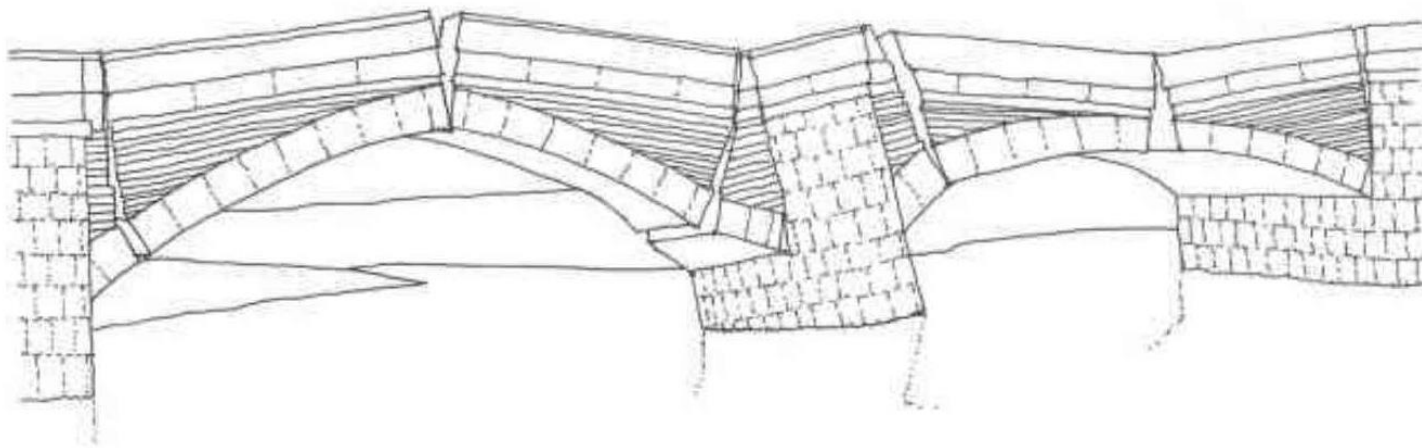


Obr. 8: Podmývanie základov klenbových mostov.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Poruchy konštrukcie:

- a. Poruchy ovplyvňujúce odolnosť konštrukcie:
 - pozdĺžne, priečne, diagonálne trhliny klenby, trhliny bočných stienok, naklonenie a sadanie podpier.



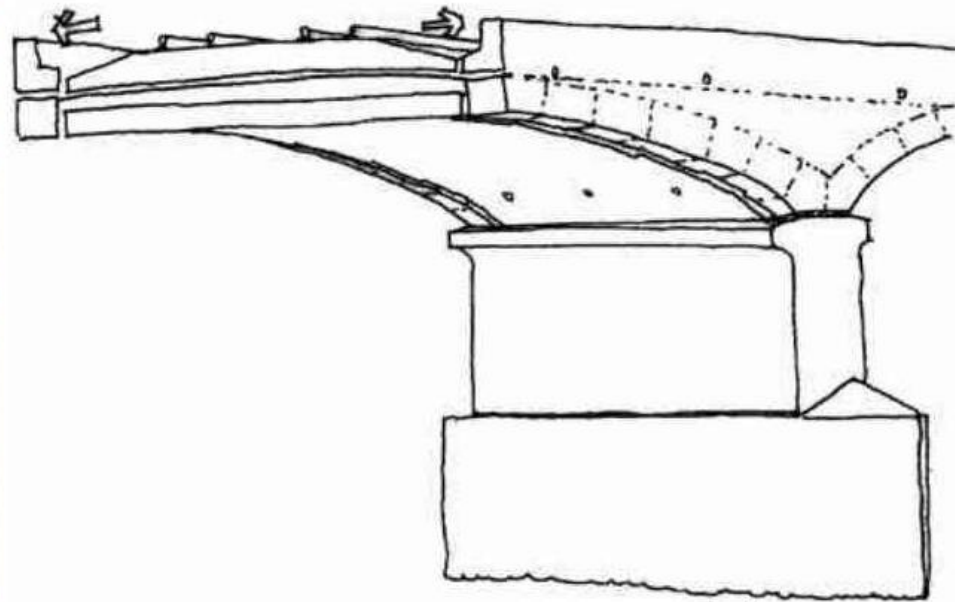
Obr. 9: Priečne trhliny klenby a naklonenie pilierov klenbových mostov.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Poruchy konštrukcie:

a. Poruchy ovplyvňujúce odolnosť konštrukcie:

Pozdĺžne trhliny klenby v mieste styku s bočnou stienkou, diagonálne trhliny klenby,

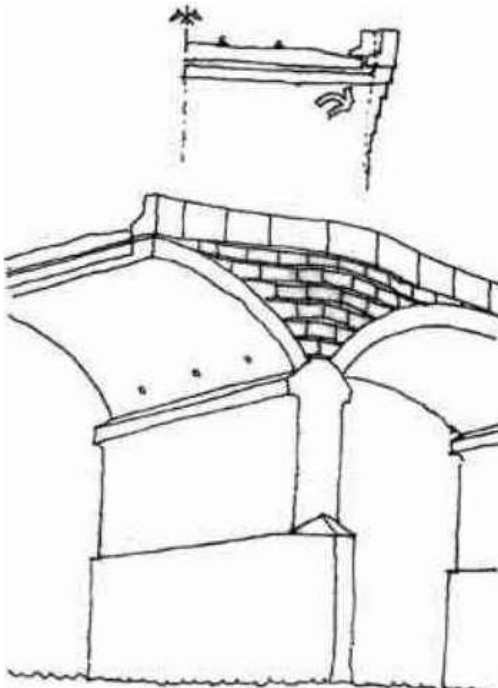


Obr. 10: Pozdĺžne trhliny v mieste styku s bočnou stienkou.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Poruchy konštrukcie:

- a. Poruchy ovplyvňujúce odolnosť konštrukcie:
 - vysunutie, vypadnutie murovacích blokov, trhliny a vychýlenie bočnej stienky.



Obr. 11: Vychýlenie a zrútenie bočnej stienky.

4. Chyby a poruchy klenbových mostov

Poruchy konštrukcie:

- b. Poruchy ovplyvňujúce životnosť konštrukcie:
 - spôsobené environmentálnym vplyvmi – klimatickými podmienkami,
 - biologickými účinkami – vegetácia,
 - ľudským pôsobením – neadekvátne zásahy a nehody.



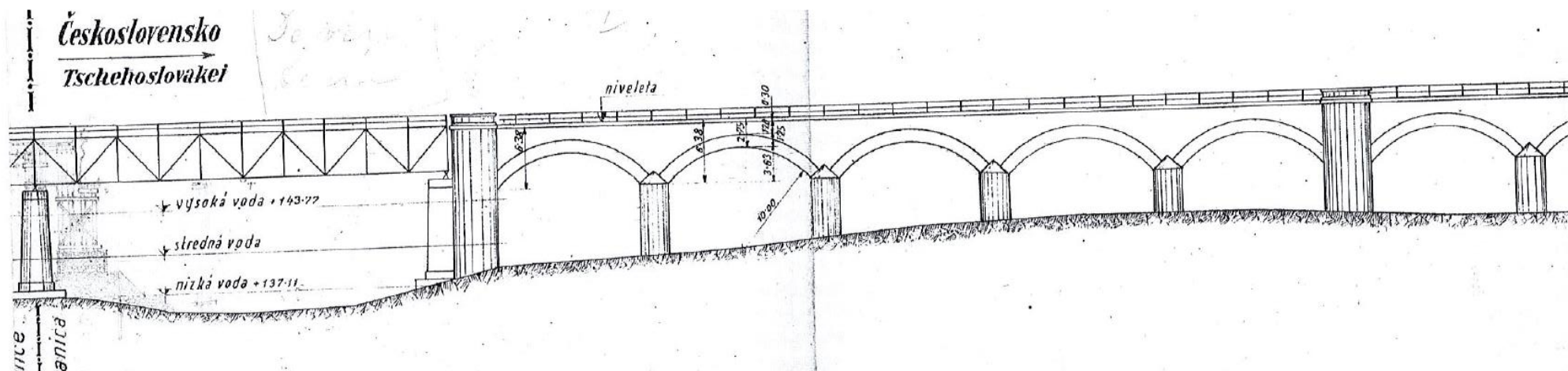
Obr. 12: Zatečenie klenby mosta s výluhmi cementového kameňa škárovania.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, posúdenie klenbovej časti mosta bola vykonaná v softwarovom LimitState RING.

Hrúbka klenieb : 1250 mm
Šírka klenieb: 5930 mm
Svetlosť klenby: 15000 mm
Výška pilierov : 5500 mm

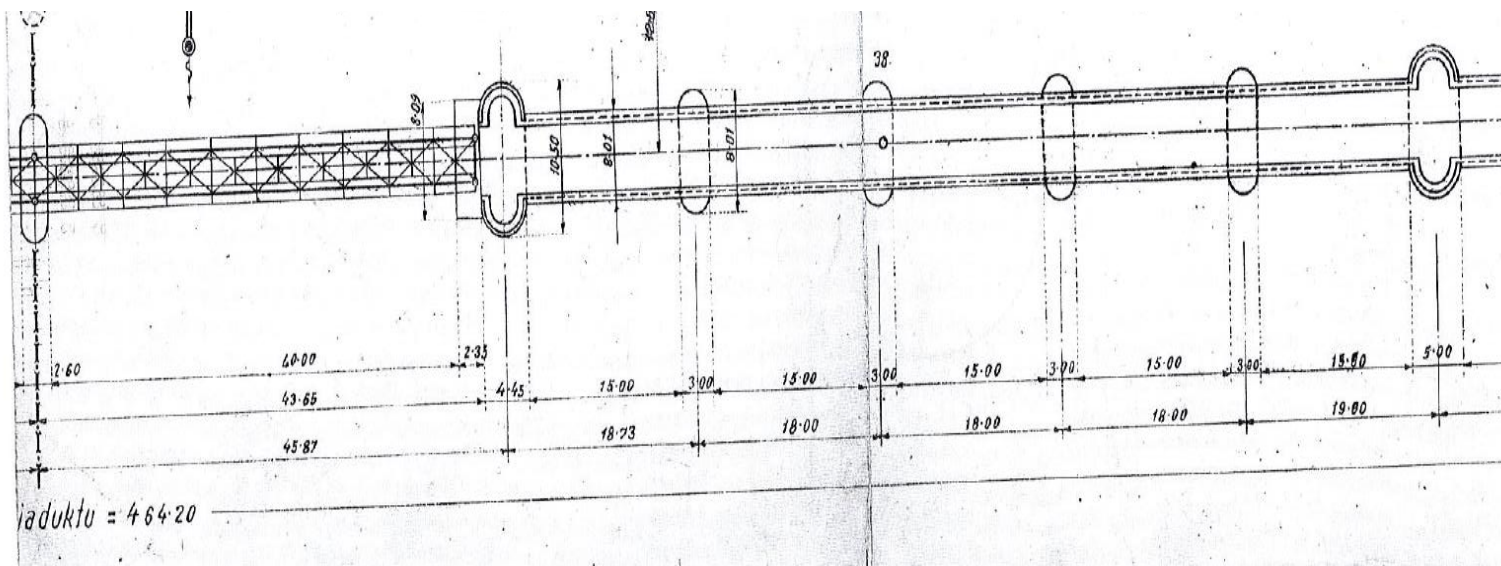
Výška bočnej stienky + rímsa : 1550 mm
Voľná výška : 8300 mm
Dĺžka pilierov: 5950 mm



Obr. 13: Grafická schéma - pohľad na most.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, posúdenie klenbovej časti mosta bola vykonaná v softwarovom LimitState RING.



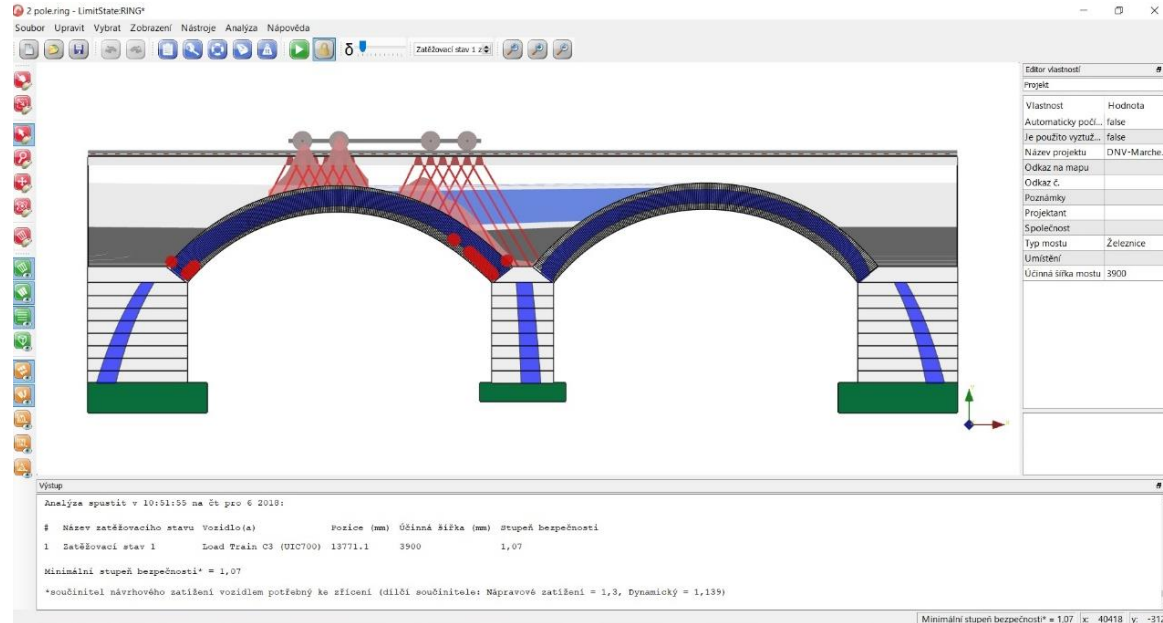
Obr. 14: Grafická schéma – pôdorys mosta.



Obr. 15: Pohľad na klenbovú časť mosta.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, posúdenie klenbovej časti mosta bola vykonaná v softwarovom LimitState RING.



Na základe vykonanej statickej analýzy tehlovej časti mosta sa určila:

- prechodnosť prevádzkového zaťaženia tehlových klenieb mosta (kategória zaťaženia) C3 -20 ton, uvažovaná je max. rýchlosť 70 km/h.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, most počas rekonštrukcie.



Obr. 17: Rekonštrukcia mosta – odťaženie štrkového lôžka.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, most počas rekonštrukcie.



Obr. 18: Rekonštrukcia mosta – zosilnenie klenieb a bočných stienok.

5. Numerická analýza klenbových mostov

Statický prepočet železničného mosta v km 37,910 trate Devínska Nová Ves – Marchegg, most po rekonštrukcii.



Obr. 19: Pohľad na zrekonštruovaný most.

6. Experimentálna analýza klenbových mostov – in situ

Chmarošský viadukt

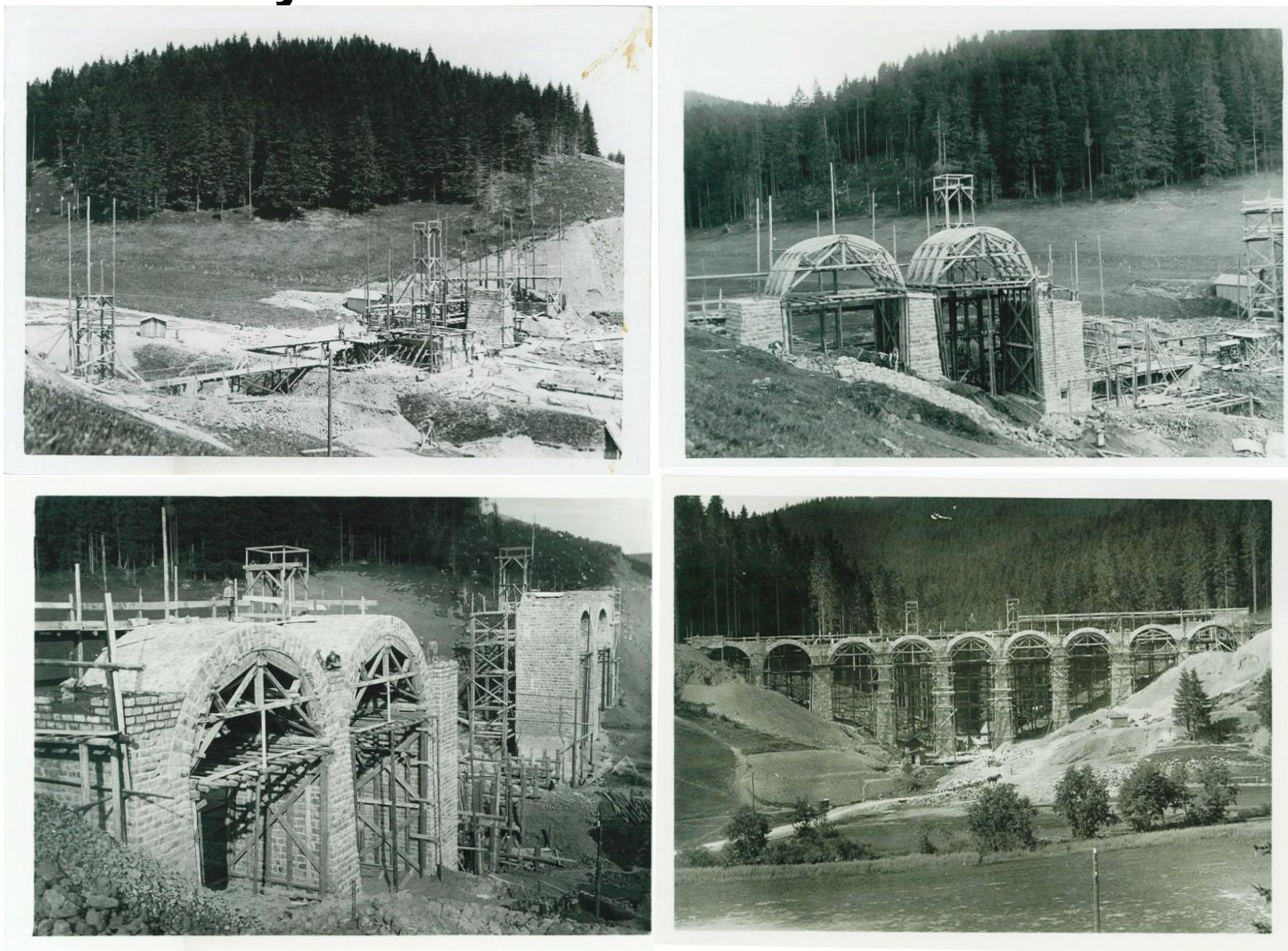
- spojitý klenbový železničný most
- 9 polí so svetlosťou 10 m
- premenlivá výška podpier, max. 18 m
- dĺžka premostenia 113,4 m
- piliere sú zložené z betónovej výplne a sú obložené kameňom, vzájomne spojené valenými klenbami
- vedenie v smerovom oblúku
- trať č. 173 Červená skala – Margecany, km 82,589
- postavený v roku 1933



Obr. 20: Pohľad na Chmarošský viadukt.

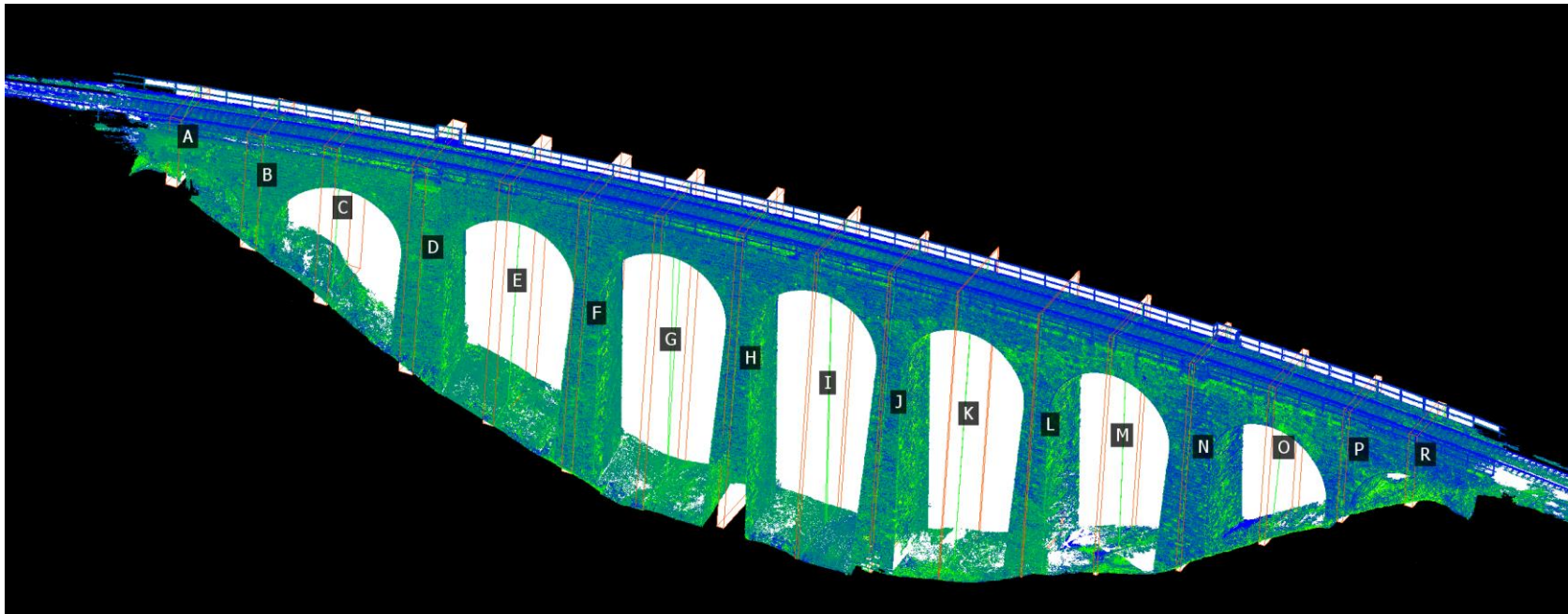
6. Experimentálna analýza klenbových mostov – in situ

Obr. 21: Dobové snímky výstavby Chmarošského viaduktu.



6. Experimentálna analýza klenbových mostov – in situ

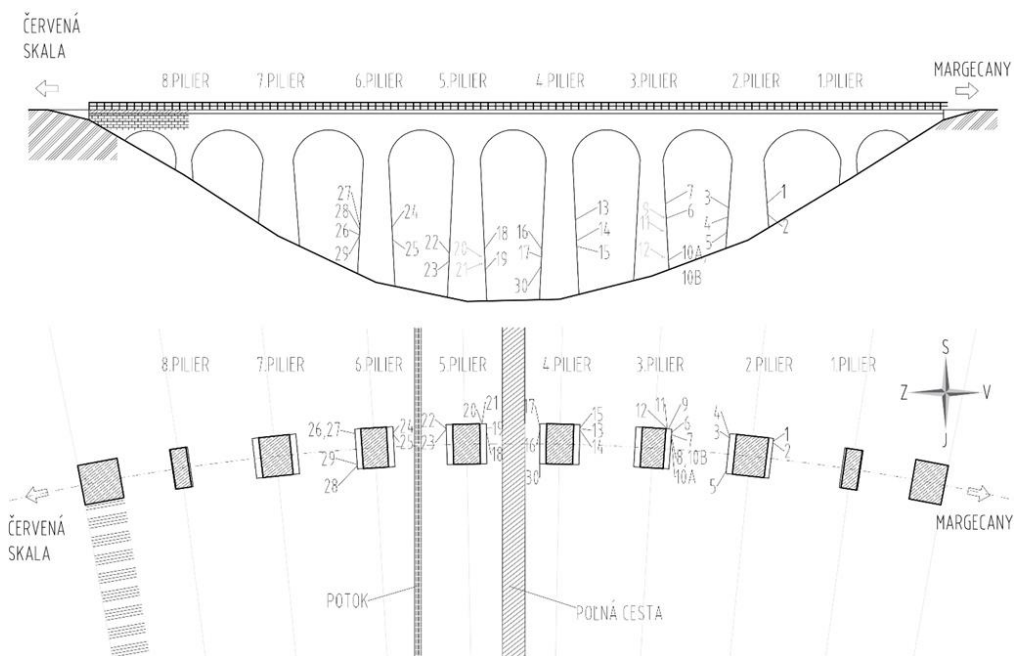
Vzhľadom na absenciu projektovej dokumentácie a zložitému priestorovému tvaru mosta (most je pôdorysne situovaný v oblúku, hrúbka pilierov sa po výške mení), sa pristúpilo k presnému geodetickému meraniu metódou terestrického laserového skenovania (geodetická observačná metóda).



Obr. 22: Ukážka 3D modelu so znázornenými polohami vykresľovaných rezov.

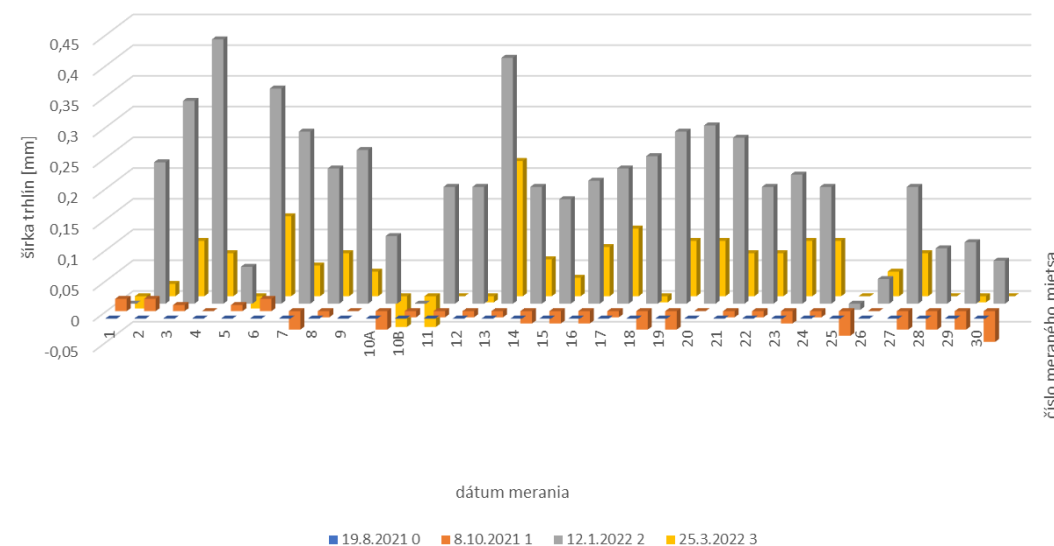
6. Experimentálna analýza klenbových mostov – in situ

Na mostnom objekte sa opakovane merajú poruchy tvorené zvislými trhlinami a prasklinami v pilieroch stavby. Pre ich komplexnú analýzu boli v obkladovom kamenive osadené meracie body. Na týchto bodoch sa uskutočnilo meranie šírky trhlín pomocou príložného deformetra SDM 250/10. Presnosť merania je určená hodnotou 1/100 mm.



Obr. 23: Poloha rozmiestnenia meraných bodov na mostnom objekte.

Vývoj šírky trhlín na Chramošskom viadukte



Graf č. 1 Vývoj šírky trhlín na pilieroch.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

Experimentálna analýza sa zameriava na zistenie rozdielu odolnosti klenbových mostov, keď sa pri návrhu respektíve posúdení uvažuje len so samotnou klenbou alebo aj so spolupôsobením bočných stienok. Výskum sa vykonáva v rámci dlhodobej spolupráce ŽSR, Výskumného a vývojového ústavu železníc Žilina a Katedry stavebných konštrukcií a mostov KSKM, Stavebnej fakulty, Žilinskej univerzity v Žiline.

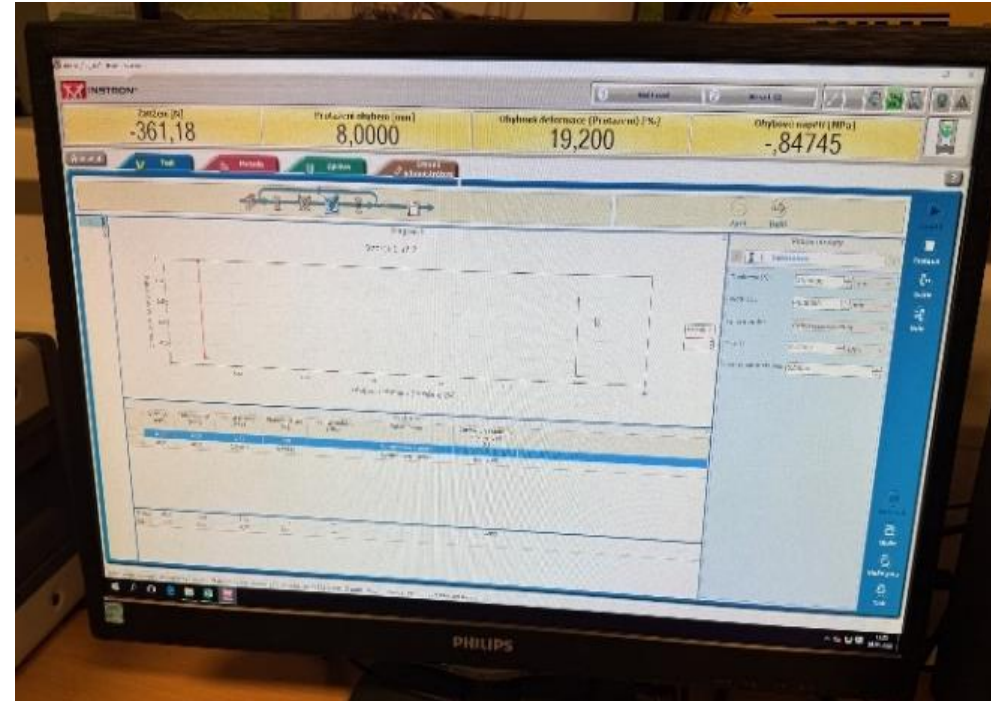
Overenie pevnosti v tlaku murovacieho prvku (tehly) na piatich tehlových vzorkách v zmysle STN EN 771-1: 2011 (72 2632), Špecifikácia murovacích prvkov, Časť 1: Tehliarske murovacie prvky:



Obr. 24: Skúšanie pevnosti v tlaku murovacieho prvku.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

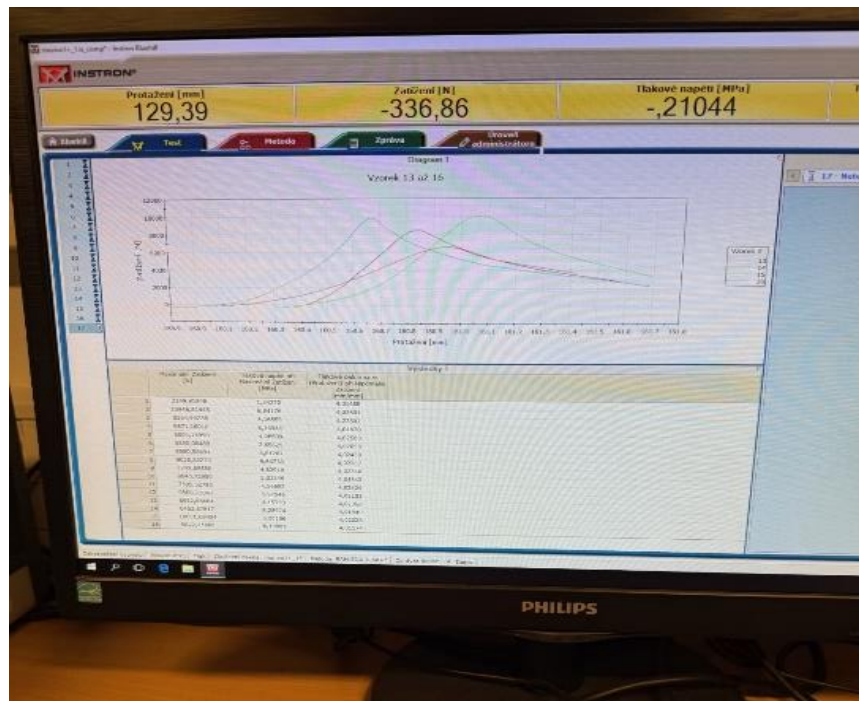
Overenie pevnosti v ťahu za ohybu a následne v tlaku na deviatich vzorkách maltových trámčekoch v zmysle STN EN 1015-11 Metódy skúšania mált na murovanie Časť 11: Stanovenie pevnosti zatvrdnutej malty v ťahu pri ohybe a v tlaku:



Obr. 25: Skúšanie pevnosti v ťahu pri ohybe trámčekov z malty.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

Overenie pevnosti v ťahu za ohybu a následne v tlaku na deviatich vzorkách maltových trámčekoch v zmysle STN EN 1015-11 Metódy skúšania mált na murovanie Časť 11: Stanovenie pevnosti zatvrdnutej malty v ťahu pri ohybe a v tlaku:



Obr. 26: Skúšanie pevnosti v tlaku trámčekov z malty.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

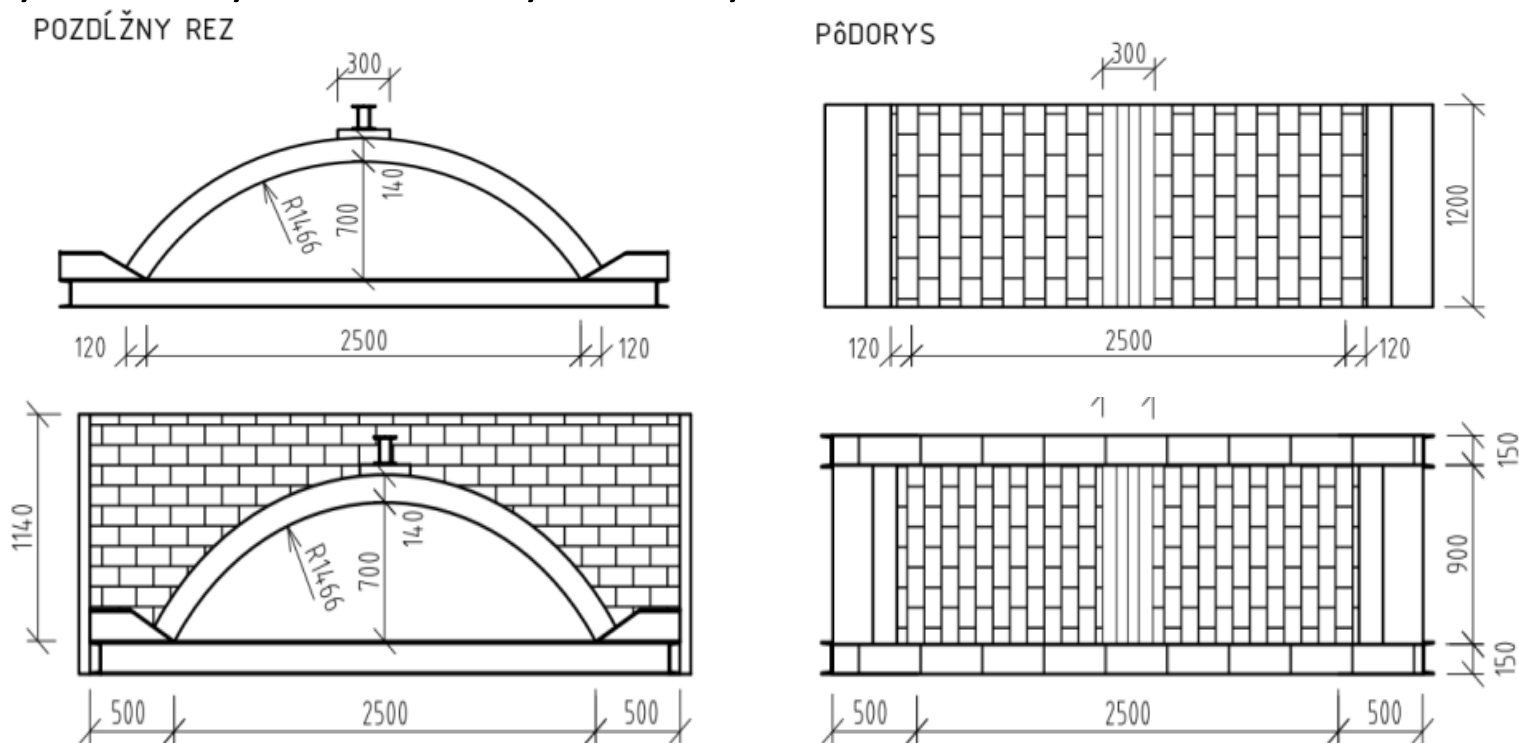
Overenie pevnosti v tlaku celého muriva na piatich vzorkách fragmentov muriva s rozmermi ($l_s = 600$ mm) $\times$ ($h_s = 360$ mm) $\times$ ($t_s = 140$ mm) vymurovaných z plných pálených tehál na murovaciu maltu v zmysle STN EN 1052-1: 2000 Skúšobné metódy pre murivo. Časť 1: Stanovenie pevnosti v tlaku:



Obr. 27: Skúšanie pevnosti v tlaku muriva.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

Analýza dvoch vzoriek experimentálnych klenieb bez stienok a dvoch vzoriek experimentálnych klenieb so stenkami vybudovaných na oceľových úložných laviciach.



Obr. 28: Grafická schéma vymurovaných tehlových experimentálnych klenieb bez bočných stienok a s bočnými stenami.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

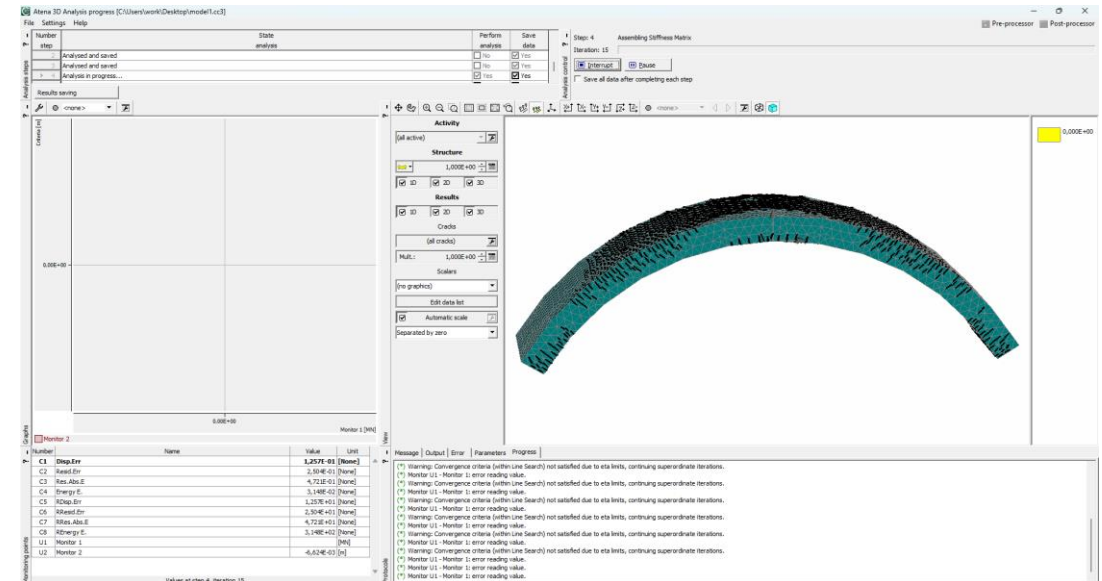
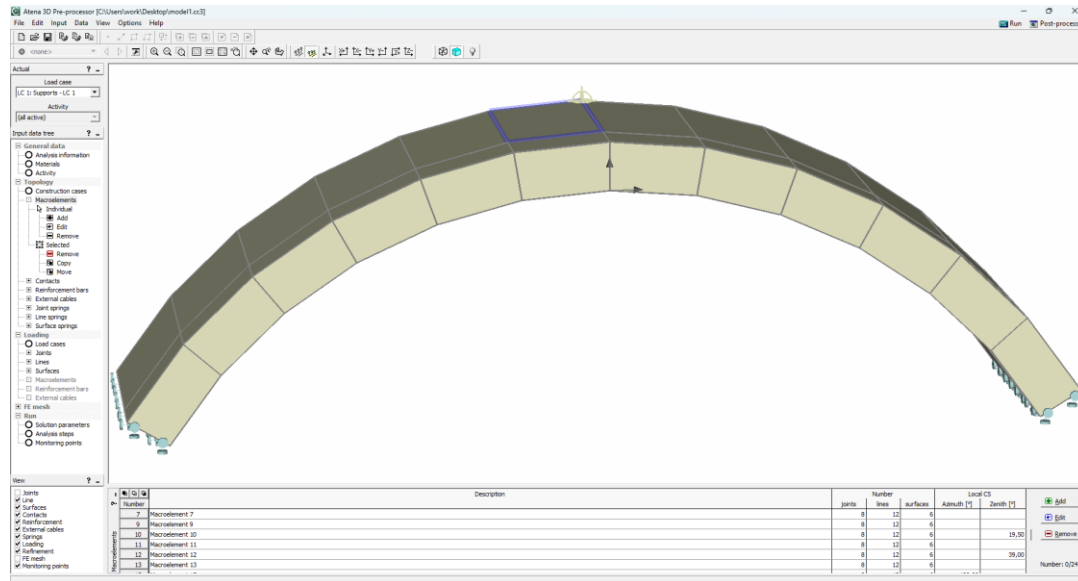
Analýza dvoch vzoriek experimentálnych klenieb bez stienok a dvoch vzoriek experimentálnych klenieb so stenkami vybudovaných na ocelových úložných laviciach.



Obr. 29: Skúšanie vymurovaných tehlových experimentálnych klenieb bez bočných stienok a s bočnými stenkami.

7. Experimentálna analýza klenieb v laboratóriu

Vykonanými experimentálnymi meraniami zistené hodnoty deformácii pri rôznych veľkostiach pôsobiacich síl budú porovnávané s vypočítanými hodnotami deformácii pri zadaní konkrétnych síl na numerických modeloch. Porovnávanie experimentálnych a numerických výsledkov je potrebné pre nastavenie presných konštrukčných charakteristík týchto numerických modelov. Na túto úlohu bol použitý software ATENA 3D.



8. Záver

V súčasnej dobe nie je už obvyklé navrhovať nové klenbové mostné objekty, konštrukcie tohto typu stavby predbehli iné formy výstavby asi pred 75 rokmi. Preto sú tieto mosty vo všeobecnosti staré 75 až 170 rokov.

Doterajšie naše zistenia z experimentálnych a numerických analýz aj napriek komplikovaným výpočtovým modelom poukazujú na to, že klenbové mosty majú dostatočnú rezervu v únosnosti z hľadiska súčasných požiadaviek na dopravné zaťaženie.

Na Slovensku v železničnej a cestnej infraštruktúre tvoria významnú časť prevádzkovaných mostov. Taktiež tvoria značnú časť (údajne až 60 % z celkového počtu) železničných mostov v strednej Európe.

Aj napriek tomu, že tieto typy mostov sú staré, sú spoľahlivým prvkom v rámci železničnej infraštruktúry a zasluhujú si patričnú pozornosť.

Odborníci členských štátov UIC zo štrnástich železničných správ sa zhodli, že je potrebné tieto mosty zachovať a nie nahradiť, lebo sú súčasťou dedičstva železnice.

Osobne zastávam rovnaký názor.

ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ.

