

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Stavebná fakulta
Katedra stavebných konštrukcií a mostov

Autoreferát dizertačnej práce na získanie
akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

SKUTOČNÉ PÔSOBENIE KLENBOVÝCH MOSTNÝCH OBJEKTOV

Ing. Ondrej Kridla

Žilina máj 2026

Dizertačná práca bola vypracovaná v rámci externého doktorandského štúdia na Stavebnej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline.

Predkladateľ: Ing. Ondrej Kridla
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta,
Katedra stavebných konštrukcií a mostov,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

Školiteľ: prof. Ing. Peter Koteš, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta,
Katedra stavebných konštrukcií a mostov,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

Oponenti: 1. Doc. Ing. Paulík Peter, PhD.,
Stavebná fakulta STU v Bratislave,
Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava.

2. prof. Ing. Martin Krejsa, Ph.D.
VŠB–TUO, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky,
Ludvíka Poděštné 1875/17, 70800, Ostrava-Poruba.

3. Ing. Michal Drahorád, Ph.D., ČVUT Praha, - Mott MacDonald, s.r.o. -
projektování mostních a inženýrských staveb v ČR a v zahraničí.

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o hod.

v zasadačke dekanátu AE 307 na Stavebnej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenou spoločnou odborovou komisiou dňa

študijný odbor: Stavebníctvo

študijný program: Teória a konštrukcie inžinierskych stavieb

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na referáte pre vedu a výskum dekanátu Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

Predseda spoločnej odborovej komisie
Meno podľa študijného odboru

OBSAH

ÚVOD.....	4
1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE	5
2 ZÍSKANIE VERIFIKOVANÝCH DÁT O PORUCHÁCH KLENBOVÝCH ŽELEZNIČNÝCH MOSTOCH DIAGNOSTIKOVANÍM A PREHLIADKAMI MOSTOV IN SITU A VYTVORENIE DATABÁZY PORÚCH PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	6
3 EXPERIMENTÁLNE OVERENIE PÔSOBENIA KLENBY BEZ SPOLUPÔSOBENIA BOČNÝCH STIENOK A SO SPOLUPÔSOBENÍM BOČNÝCH STIENOK.....	9
4 NUMERICKÉ OVERENIE PÔSOBENIA KLENBY BEZ SPOLUPÔSOBENIA BOČNÝCH STIENOK A SO SPOLUPÔSOBENÍM BOČNÝCH STIENOK.....	18
5 POROVNANIE VÝSLEDKOV Z NUMERICKEJ ANALÝZY A EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA.....	21
6 ZÁVER	29
VÝBER Z POUŽITEJ LITERATÚRY	30
PUBLIKOVANÉ ČLÁNKY	30

ÚVOD

Klenbové mosty sú považované za vzácne odkazy umenia predchádzajúcich generácií. Aby sme vedeli čo najlepšie posúdiť ich skutočný skutkový stav a prípadne aj následne správne navrhnuť rekonštrukciu, musíme vedieť skutočné správanie sa s pôsobením všetkých konštrukčných častí klenbových mostov. Dizertačná práca sa zameriava na klenbové murované mosty, ktoré sú priestorové nosné konštrukcie používané už od staroveku. Klasickej murovanej klenbe zodpovedá oblúčková konštrukcia postavená z tesaných kameňov – klenákov alebo tehlových blokov zostavených tak, aby zvislé škáry medzi nimi smerovali do stredu oblúku.

Tak ako každá konštrukcia alebo použitý materiál, tak aj klenbové murované mosty majú svoje výhody a nevýhody. Výhody klenbových mostov sú hlavne [1] obmedzené deformácie pri dopravnom zaťažení, masívna konštrukcia, veľká odolnosť konštrukcie, dlhá životnosť a tak podobne. Existuje však aj pomerne veľa nevýhod klenbových murovaných mostov, napríklad výrazné zníženie odolnosti veľkými posunmi podpíer (tento predpoklad však platí pre všetky mosty so staticky neurčitou schémou). Je zrejmé, že takéto zhrnutie výhod a nevýhod je vždy subjektívne. Ale s určitosťou môžeme povedať, že výhody klenbových mostov prevažujú nad nevýhodami.

V súčasnej dobe nie je obvyklé navrhovať nové klenbové mostné objekty, ale na Slovensku v železničnej a cestnej infraštruktúre tvoria významnú časť prevádzkovaných mostov.

Z celkového počtu 2306 železničných mostov je 557 mostov s klenbovou nosnou konštrukciou. Z hľadiska počtu klenbových oblúkov je na týchto mostoch 200 murovaných kamenných a 95 tehlových nosných konštrukcií.

Na strane správcovských organizácií zaoberajúcimi sa hospodárením s murovanými klenbovými mostami na Slovensku a v zahraničí pozorujeme v poslednej dobe zvýšený záujem o analyzovanie týchto mostov. Dôvodom sú ich pomerne veľké zastúpenie na železničných tratiach, vyšší vek a s tým súvisiaci aj zhoršený stavebno-technický stav a v neposlednej rade neustále zvyšujúce sa nároky na dopravné zaťaženie.

Dizertačná práca sa venuje pôsobeniu klenbových murovaných mostov a to so zameraním sa na vplyv bočných stienok na skutočné pôsobenie a odolnosť klenby.

1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Hlavným cieľom dizertačnej práce s názvom „Skutočné pôsobenie klenbových mostných objektov“ je vytvoriť a zrealizovať výskumný program analýzy klenbových mostov, overenie ich skutočného pôsobenia a vplyv bočných stienok na odolnosť klenby.

Na dosiahnutie hlavného cieľa práce sú riešené tieto čiastkové ciele:

1. In-situ meraniami (diagnostiky mostov) získať relevantné dáta o poruchách klenbových železničných mostov a zhotoviť databázu porúch.
2. Numerické overenie pôsobenia klenby bez spolupôsobenia bočných stienok a so spolupôsobením bočných stienok.
3. Experimentálne overenie pôsobenia klenby bez spolupôsobenia bočných stienok a so spolupôsobením bočných stienok.
4. Porovnanie výsledkov experimentálnych meraní a numerického modelovania, vypracovanie odporúčaní pre modelovanie numerickej analýzy klenbových mostov v praxi.

Na dosiahnutie hlavného cieľa práce boli použité nasledovné metódy a postupy:

- experimentálne merania v akreditovanom laboratóriu SvF UNIZA – boli vyhotovené a merané klenby bez stienok a so stienkami,
- experimentálne merania skutočných vlastností muriva ako celku a jednotlivých častí – murovacích prvkov a malty,
- numerické nelineárne modelovanie v softvéri Atena – modelované boli klenby bez stienok a so stienkami,
- výsledky sa navzájom porovnali.

2 ZÍSKANIE VERIFIKOVANÝCH DÁT O PORUCHÁCH KLENBOVÝCH ŽELEZNIČNÝCH MOSTOCH DIAGNOSTIKOVANÍM A PREHLIADKAMI MOSTOV IN SITU A VYTVORENIE DATABÁZY PORÚCH PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Murované oblúčkové mosty v čase degradujú najčastejšie kvôli rôznej eróznej činnosti pôsobiacej v okolí týchto mostov, ako sú environmentálne činitele - klimatické podmienky, vodné toky, vplyv vegetácie. Okrem toho vznikajú na týchto mostoch aj poruchy zo zvyšovania prevádzkového zaťaženia a dynamických účinkov od dopravy, zanedbanou údržbou, nesprávnym konštrukčným návrhom alebo nesprávnou realizáciou. V neposlednej rade sa vyskytujú na oblúčkových murovaných mostoch aj poruchy od neadekvátneho ľudského pôsobenia – neprofesionálne zásahy pri rekonštrukciách, opravách ale aj od dopravných nehôd.

Na základe viac ako dvadsať rokov skúseností riešiteľa dizertačnej práce z podrobných prehliadok železničných mostov a aj z poznatkov z krajín UIC (Medzinárodná únia železníc) zaoberajúcich sa touto problematikou, bol vytvorený nový zoznam charakteristických porúch murovaných klenbových mostných objektov v sieti ŽSR, ktorý je uvedený v tabuľke Tab.1. Pre lepšiu zrozumiteľnosť je potrebné zdôrazniť, že na klenbových murovaných mostoch sa môžu vyskytovať aj iné poruchy, ako napríklad vymieľanie podlažia pod základmi alebo naklonenie pilierov. Ale vzhľadom na to, že takéto poruchy sa na murovaných železničných klenbových mostoch v sieti ŽSR nevyskytujú, v zozname nie sú.

Tab. 1: Prehľad charakteristických porúch murovaných oblúčkových mostov v sieti ŽSR.

Kód	Popis poruchy
A1	Pozdĺžne trhliny klenby
A2	Pozdĺžna trhlina na okraji v podhl'ade klenby pri spojení klenby s bočnou stenkou
A3	Priečne trhliny klenby
A4	Šikmé trhliny klenby
A5	Separovanie vrstiev muriva klenby
A6	Kaverny, vypadnuté alebo vysunuté kamenné alebo tehlové murivo v klenbe

A7	Priesaky murivom klenby s vylúhovaním minerálov presakujúcej vody
A8	Separácia bočnej stienky, trhliny medzi bočnou stenou a klenbou
A9	Trhliny v bočnej stenke, vydúvanie a naklonenie bočnej stienky
A10	Zvislé trhliny opôr, respektíve pilierov
A11	Vodorovné trhliny opôr, respektíve pilierov
A12	Šikmé trhliny opôr, respektíve pilierov
A13	Kaverny (vypadnute kamenne alebo tehlové bloky muriva) opôr, respektíve pilierov
A14	Sadnutie, naklonenie, trhliny a zrútenie časti krídel
A15	Vysunutie rímsoy
A16	Priesaky na oporách a pilieroch s vylúhovaním cementového kameňa zo škárovania muriva
A17	Degradácia kamenných a tehlových prvkov v murive klenieb a spodnej stavby
A18	Degradácia malty v škárovaní v murive klenieb a spodnej stavby
A19	Trhliny v omietkach a opadávanie omietky
A20	Mechanické poškodenie muriva klenby a spodnej stavby
A21	Degradácia materiálu základov

Existujú aj oblúčkové mosty, ktoré majú v jednom mostom otvore oblúčkové nosné konštrukcie z viacerých materiálov stavebných prvkov (betón, kameň a tehla). Takéto prípady vznikli napríklad pri rozširovaní železničných telies rekonštruovaných železničných tratí.

V tabuľke Tab.2 sú uvedené počty samotných klenbových nosných konštrukcií podľa materiálu stavebných prvkov. Teda napríklad, ak aj iba v jednom mostnom otvore oblúčového železničného mosta je betónová klenbová nosná konštrukcia a aj tehlová nosná konštrukcia, z hľadiska počtu sú uvažované samostatne (1ks betónová klenba a 1ks tehlová klenba).

Tab. 2: Klenby mostov v sieti ŽSR rozdelené podľa materiálu stavebných prvkov.

Klenbové nosné konštrukcie podľa materiálu stavebných prvkov	Počet
Betónové	351
Kamenné	200
Tehlové	95
Spolu	646

V tabuľke Tab.3 je uvedené percentuálne zastúpenie charakteristických porúch murovaných oblúkových železničných mostov v sieti ŽSR samostatne na mostoch s kamennou klenbovou nosnou konštrukciou respektíve tehlovou nosnou konštrukciou.

Tab. 3: Percentuálne zastúpenie charakteristických porúch murovaných železničných oblúkových mostov v sieti ŽSR podľa materiálu stavebných prvkov klenbovej nosnej konštrukcie mosta

Kód	Popis poruchy	Materiál klenby	
		Kamenné [%]	Tehlové [%]
A1	Pozdĺžne trhliny klenby	62,00	36,90
A2	Pozdĺžna trhlina na okraji v podhl'ade klenby pri spojení klenby s bočnou stenkou	16,00	23,40
A3	Priečne trhliny klenby	2,00	5,40
A4	Šikmé trhliny klenby	4,50	4,50
A5	Separovanie vrstiev muriva klenby	5,5	8,1
A6	Kaverny, vypadnuté alebo vysunuté kamenné alebo tehlové murivo v klenbe	22,50	13,50
A7	Priesaky murivom klenby s vylúhovaním minerálov presakujúcej vody	80,00	68,4
A8	Separácia bočnej stienky, trhliny medzi bočnou stenkou a klenbou	8,00	7,20
A9	Trhliny v bočnej stenke, vydúvanie a naklonenie bočnej stienky	16,00	8,10
A10	Zvislé trhliny opôr, respektíve pilierov	36,00	5,40
A11	Vodorovné trhliny opôr, respektíve pilierov	4,00	2,70
A12	Šikmé trhliny opôr, respektíve pilierov	15,00	18,00
A13	Kaverny (vypadnuté kamenné alebo tehlové bloky muriva) opôr, respektíve pilierov	9,50	4,50
A14	Sadnutie, naklonenie, trhliny a zrútenie časti krídel	10,00	8,10
A15	Vysunutie rímsy	7,50	5,40
A16	Priesaky na oporách a pilieroch s vylúhovaním cementového kameňa zo škárovania muriva	22,00	22,50
A17	Degradácia kamenných a tehlových prvkov v murive klenieb a spodnej stavby	30,50	45,00
A18	Degradácia malty v škárovaní v murive klenieb a spodnej stavby	30,50	45,00
A19	Trhliny v omietkach a opadávanie omietky	5,00	5,40
A20	Mechanické poškodenie muriva klenby a spodnej stavby	1,50	3,6

A21	Degradácia materiálu základov	2,00	1,8
-----	-------------------------------	------	-----

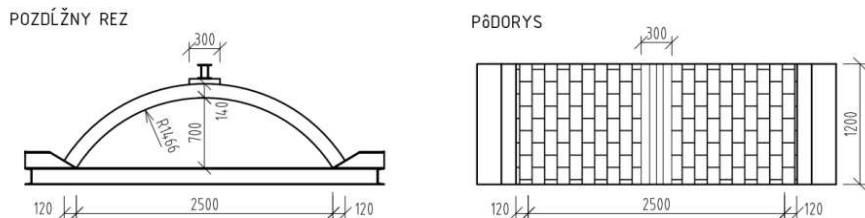
3 EXPERIMENTÁLNE OVERENIE PÔSOBNIA KLENBY BEZ SPOLUPÔSOBNIA BOČNÝCH STIENOK A SO SPOLUPÔSOBNÍM BOČNÝCH STIENOK

Experimentálne skúšky prebiehali na dvoch vzorkách murovaných klenieb bez bočnej stienky a na dvoch vzorkách murovaných klenieb s bočnými stenkami. Boli murované z plnej pálenej tehly formátu 290x140x65mm s pevnostnou triedou P20. Ako murovacía malta bola použitá cementová malta značky triedy MC5.

Experimentálne vzorky klenieb boli vymurované na oceľových úložných laviciach, aby boli hlavne zachované statické okrajové podmienky a aby sa dalo aj dobre manipulovať so vzorkami pri zaťažovaní pod lisom.

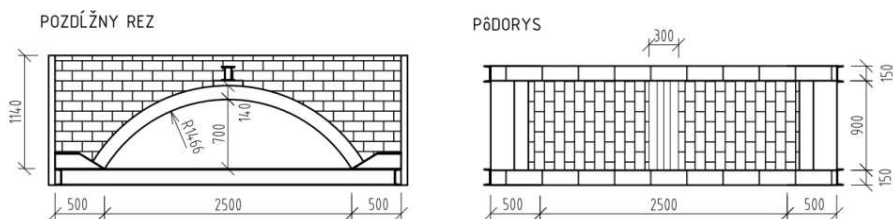
Experimentálne vzorky murovaných klenieb bez bočnej stienky majú hrúbku klenby 140mm podľa formátu plnej tehly, šírku klenby 1200 mm, svetlú dĺžku 2500 mm a svetlú výšku vo vrchole 700 mm. Vo vrchole klenby bolo na hornej ploche klenby vybudované roznášacie betónové lôžko min. hrúbky 50mm z betónu triedy C30/37. Na betónovom lôžku bol uložený roznášací nosník s prierezom 2x I180 dĺžky 1200 mm – to znamená na celú šírku vzorky klenby. Tvar a rozmery klenby zodpovedajú rozmerom skutočných klenieb v mierke približne priemerne 1:3 (od $\frac{1}{2}$ po $\frac{1}{4}$), ale šírka klenby musela byť prispôbena možnostiam lisu (aby sa zmestila pod lis) a hrúbka klenby sa prispôsobila rozmeru tehly (násobku 140mm) a tak isto aj možnostiam zaťažovania pod lisom (maximálne sile pri zaťažení, aby sme boli schopní posušiť vzorku).

Schématické znázornenie tvaru experimentálnych vzoriek murovaných klenieb bez bočnej stienky je na Obr. 1.



Obr. 1: Geometrické parametre experimentálnej vzorky murovaných klenieb bez bočnej stienky

Experimentálne vzorky murovaných klenieb s bočnými stenkami mali rovnaký tvar klenby ako vzorky bez stienok, navyše mali na obidvoch čelách klenby a po celej dĺžke úložnej lavice vymurované bočné stenky šírky 140mm podľa formátu plnej tehly a výšky od päty klenby 1140mm, teda presahuje 300 mm nad vrchol klenby. Vo vrchole klenby bolo taktiež na hornej ploche klenby vybudované roznášacie betónové lôžko min. hrúbky 50mm z betónu triedy C30/37, na ktorom bol uložený roznášači nosník s prierezom 2x I180 dĺžky 900 mm – tentokrát iba medzi vnútornými stranami bočných stienok. Schematické znázornenie tvaru experimentálnych vzoriek murovaných klenieb s bočnými stenkami je na Obr. 2.



Obr. 2: Geometrické parametre experimentálnej vzorky murovaných klenieb s bočnými stenkami

Experimentálne vzorky mali teoreticky predpokladanú statickú schému ako neposuvný, dvojklbový oblúkový nosník s teoretickými rozmermi rozpätia $L = 2600$ mm, vzopätia $V = 750$ mm a polomeru oblúka $R = 1500$ mm.

Murovanie každej jednej experimentálnej vzorky sa zrealizovalo v ucelenom časovom intervale s maximálnou dobou 8 hodín, aby neboli vytvorené pracovné škáry a aby mechanické vlastnosti malty v celej experimentálnej vzorke neboli ovplyvnené rozdielnou dobou tuhnutia. Bočné stienky sú na klenbu nadmurované, teda je možné uvažovať iba s kĺbovým prípojom bočnej stienky. Navyše tento kĺbový prípoj realizovaný iba pomocou malty v škáre medzi bočnou stenou a hornou plochou klenby má skoro nulovú pevnosť v ťahu (iba 5% z tlakovej pevnosti malty). Ak je tento styk namáhaný ťahom, bude porušený a vznikne trhlinka medzi stenou a klenbou. Takýto kontakt (styk) v skutočnosti prenáša len tlakové namáhanie. Medzi výrobou a odskúšaním každej jednej experimentálnej vzorky ubehlo minimálne 28 dní. Výroba experimentálnych vzoriek je znázornená na Obr 3. až 6.



Obr. 3: Výroba experimentálnej vzorky č.1 – klenba bez bočných stienok.



Obr. 4: Výroba experimentálnej vzorky č.2 – klenba bez bočných stienok.



Obr. 5: Výroba experimentálnej vzorky č.3 – klenba s bočnými stenkami

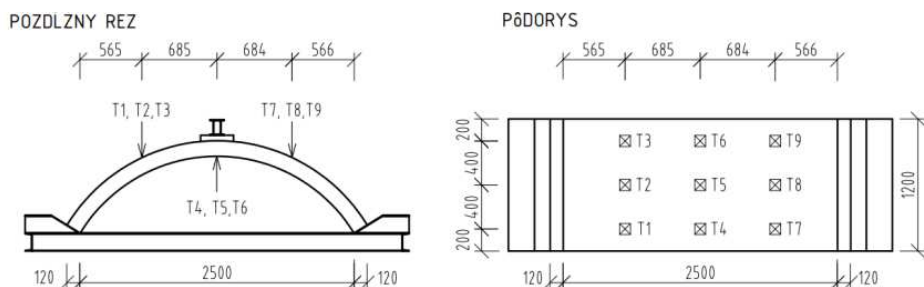


Obr. 6: Výroba experimentálnej vzorky č.4 – klenba s bočnými stenkami

Všetky experimentálne vzorky boli zaťažené vo vrchole osovou silou, respektíve riadenou deformáciou, v minimálne v piatich fázach až do kolapsu vzorky. V prípade prvých dvoch klenieb bez bočných stienok (vzorka č. 1 a č. 2) prebiehalo zaťažovanie takým spôsobom, že sa pridávala sila s krokom 5,0 kN (alebo riadená deformácia s odpovedajúcou silou 5,0 kN) a po každom kroku sa vzorka odľahčila na základnú hodnotu 2,0 kN. V prípade ďalších dvoch klenieb s bočnými stenkami (vzorka č. 3 a č. 4) prebiehalo zaťažovanie takým spôsobom, že sa pridávala sila s krokom 10,0 kN (alebo riadená deformácia s odpovedajúcou silou 10,0 kN) a po každom kroku sa vzorka opäť odľahčila na základnú hodnotu 2,0 kN.

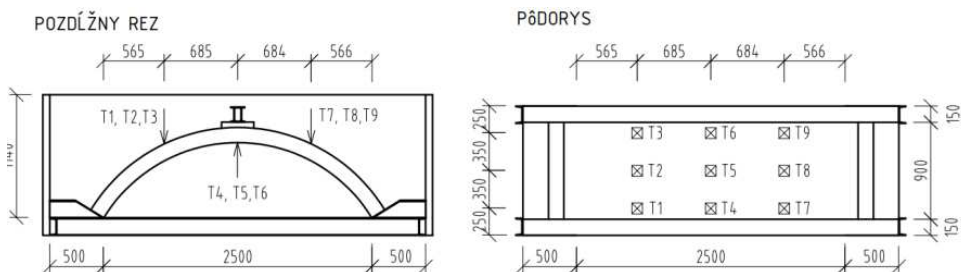
Snímače LVDT s označením T1, T2 a T3 boli umiestnené do jednej línie rozdelené rovnomerne po šírke klenby v $\frac{1}{4}$ L rozpätia klenby. Snímače s označením T4, T5 a T6 boli umiestnené do jednej línie rozdelené rovnomerne po šírke klenby v $\frac{1}{2}$ L rozpätia klenby. Snímače s označením T7, T8 a T9 boli umiestnené do jednej línie rozdelené rovnomerne po šírke klenby v $\frac{3}{4}$ L rozpätia klenby. Rozmiestnenie v jednej línii znamená, že boli rozmiestnené spôsobom okraj – stred – okraj.

Umiestnenie snímačov merania dĺžky na experimentálnej vzorke č.1 a č.2 je znázornené na obrázku Obr. 7.



Obr. 7: Poloha snímačov merania dĺžky na experimentálnej vzorke č.1 a č.2

Umiestnenie snímačov merania dĺžky na experimentálnej vzorke č. 3 a 4 na obrázku Obr. 8.



Obr. 8: Poloha snímačov merania dĺžky na experimentálnej vzorke č.3 a č.4

Hodnoty maximálnych síl pri porušení a odpovedajúcich deformácií klenby v strede rozpätia jednotlivých vzoriek sú dané v Tab. 4.

Tab. 4: Hodnoty síl a deformácií v strede rozpätia pri porušení jednotlivých vzoriek

Číslo experimentálnej vzorky	1	2	3	4
Max. sila pôsobiaca pri porušení vzorky [kN]	22,82	24,69	107,16	141,97
Priemerná hodnota	23,76		124,57	
Deformácia v strede rozpätia pri pôsobení max. sily [mm]	1,42	1,49	1,14	1,24
Priemerná hodnota	1,46		1,19	

Z dosiahnutých výsledkov je ale zjavné, že pôsobenie bočných stienok má veľký vplyv na zvýšenie odolnosti klenby – ide o pozitívny výsledok. Ak sa porovnajú priemerné hodnoty maximálnych síl vzoriek s bočnými stenkami a bez bočných stienok, tak ide o nárast 5,24-krát, to znamená nárast v odolnosti klenieb so stenkami o viac ako 500%. Aj keď sa uvažuje menšia hodnota maximálnej sily dosiahnutá u vzorky č. 3 (107,16kN), tak v porovnaní s priemernou hodnotou vzoriek bez stienok 23,76kN ide o nárast 4,51-krát. Tým bol jednoznačne preukázaný priaznivý vplyv bočných stienok na zvýšenie odolnosti klenieb. Tak ako sa dalo taktiež očakávať, bočné stenky priaznivo ovplyvnili aj hodnoty deformácie. V porovnaní priemerných hodnôt deformácií vzoriek s bočnými stenami a bez bočných stien došlo ku zníženiu deformácie o 18,49 % ($1,19/1,46-1=0,18469$). To znamená, že bočné stenky znižujú deformácie klenieb pri porušení, čo však v praxi nemusí byť priaznivé. Ak nastáva porušenie klenby pri menšej deformácii, ťažšie sa to môže v praxi odhaľovať. Vieme, že ide o tuhé konštrukcie, ktoré už z podstaty majú malé deformácie. Takže kolaps takýchto mostov môže nastať pomerne rýchlo bez možného upozornenia pomocou veľkých deformácií. Treba však uviesť, že tento priaznivý vplyv bočných stienok bol preukázaný iba na daných experimentálnych vzorkách s uvažovanými rozmermi a spôsobom zaťažovania (cez roznašacie betónové lôžko min. hrúbky 50mm a oceľový nosník s prierezom 2x I180 dĺžky 1200 mm, resp. 900 mm – na celú šírku vzorky). Predpokladá sa, že ak by sa rozmery klenieb (šírka klenby, rozpätie klenby, vzopätie klenby, hrúbka klenby), prípadne rozmery bočných stienok (výška stienky – počet radov tehál, hrúbka stienky, ukotvenie stienky – kĺbovo, votknutie) menili, tak by sa dosiali iné hodnoty, avšak stále sa dá uvažovať, že by boli priaznivé – nárast v odolnosti by nemusel byť taký veľký, ale stále by bol. Bočná stienka určite ovplyvňuje odolnosť klenby v tesnej blízkosti stienky. Predpokladá sa, že ak by bola klenba dostatočne široká, tak by sa odolnosť blížila ku pôsobeniu iba samotnej klenby bez bočných stienok.

Kvôli overeniu skutočných vlastností materiálov použitých v murive ako celku experimentoch vzoriek boli vykonané skúšky plných pálených tehál, murovacej malty a vymurovaných stenových pilierov.

Získané hodnoty slúžili ako vstupné parametre do numerických modelov klenieb bez stienok a so stenkami .

Prehľad nameraných hodnôt a vypočítaných výsledkov pevnosť v tlaku murovacieho prvku (tehly) na piatich tehlových vzorkách sú uvedené v tabuľke Tab. 5. Z výsledkov vyplýva, že pevnosť murovacích prvkov (tehly) je väčšia ako predpokladaná hodnota 20,0 MPa. Stredná hodnota pevnosti v tlaku bola dosiahnutá na úrovni 28,52 MPa.

Tab. 5: Výsledky pevnosti tlaku tehlových vzoriek.

Číslo vzorky	1	2	3	4	5	Stredná hodnota	Smerodajná odchýlka
Dĺžka vzorky [mm]	103,6	101,2	103,2	105,0	102,3	103,06	1,42
Šírka vzorky [mm]	101,3	104,1	104,1	102,3	104,6	103,28	1,41
Síla pri porušení [kN]	257	294	363	263	341	303,60	47,01
Pevnosť v tlaku [MPa]	24,53 7	27,91 3	33,78 9	24,48 4	31,86 4	28,52	4,23

Prehľad nameraných hodnôt a vypočítaných výsledkov pevnosti v ťahu za ohybu a v tlaku na deviatich vzorkách maltových trámoch sú uvedené v tabuľke Tab. 6. Aj v tomto prípade bola pevnosť malty v tlaku väčšia ako navrhovaná 5,0 MPa.

Tab. 6: Výsledky pevnosti ťahu za ohybu a v tlaku na vzorkách maltových trámoch

Číslo vzorky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Stred. hodn.	Smerod. odchýl.
Výška vzorky [mm]	40,0	39,8	40,1	39,9	39,9	39,9	40,6	39,9	39,8	39,99	0,25
Šírka vzorky	39,1	40,1	40,1	40,1	40,0	40,0	39,9	39,4	40,0	39,86	0,36

[mm]											
Sila pri porušení v ťahu za ohybu [N]	958	655	1029	829	782	665	927	796	817	828,67	125,93
Pevnosť v ťahu za ohybu [MPa]	3,14	2,14	3,16	2,72	2,56	2,18	3,04	2,83	2,68	2,72	0,38
Sila pri porušení v tlaku [kN]	9,87	8,98	9,82	8,65	7,74	8,46	10,08	7,35	8,51	8,83	0,96
Pevnosť v tlaku [MPa]	6,29	5,58	5,97	5,46	4,84	5,29	6,31	4,71	5,31	5,53	0,57

V zmysle [2] bola meraná pevnosť v tlaku celého muriva na piatich vzorkách fragmentov muriva s rozmermi ($l_s = 600 \text{ mm}$) $\times$ ($h_s = 360 \text{ mm}$) $\times$ ($t_s = 140 \text{ mm}$) vymurovaných z plných pálených tehál na murovaciu maltu. Na fragmenty muriva boli uchytené štyri snímače deformácie.

Prehľad nameraných hodnôt a vypočítaných výsledkov pevnosti v tlaku na piatich vzorkách fragmentov muriva sú uvedené v tabuľkách Tab. 7 a Tab. 8.

Tab. 7: Stanovenie pevnosti muriva v tlaku – vzorky muriva č. 1 a 2.

Zat'aženie			Priebeh priemerných deformácií (mm)	
Zat'ažovací stupeň	Sila (kN)	Pevnosť (N/mm²)	Skúš. vzorka č. 1 (základňa 140 mm)	Skúš. vzorka č. 2 (základňa 140 mm)
1	40	0,5	0,029	0,039
2	100	1,2	0,072	0,078
3	200	2,4	0,134	0,129
4	300	3,6	0,189	0,179
5	400	4,8	0,237	0,225
6	500	6,0	0,284	0,268
7	600	7,1	0,331	0,303
8	700	8,3	0,382	0,343

9	800	9,5	0,440	0,375
10	900	10,7	0,510	0,415
11	1000	11,9	-	0,454
12	1100	13,1	-	0,511
Maximálna sila $F_{i,max}$ (kN)			960	1100
Čas do dosiahnutia max. sily (min)			15	18
Tlačená plocha A_i (mm²)			84000	84000
Pevnosť muriva f_i (N/mm²)			11,4	13,1
Priemerná pevnosť muriva f (N/mm²)			12,3	
Charakteristická pevnosť muriva f_k (N/mm²)			10,2	
Pomerne pretvorenie v 1/3 max. sily ε_i (-)			0,001421	0,001490
Modul pružnosti muriva E_i (N/mm²)			2700	2900
Priemerný modul pružnosti muriva E (N/mm²)			2800	

Tab. 8: Stanovenie pevnosti muriva v tlaku – vzorky muriva č. 3, 4 a 5.

Zaťaženie			Priebeh priemerných deformácií (mm)		
Zaťažovací stupeň	Sila (kN)	Pevnosť (N/mm²)	Skúš. vzorka č. 3 (základňa 140 mm)	Skúš. vzorka č. 4 (základňa 140 mm)	Skúš. vzorka č. 5 (základňa 140 mm)
1	40	0,5	0,017	0,020	0,032
2	100	1,2	0,035	0,053	0,046
3	200	2,4	0,067	0,099	0,065
4	300	3,6	0,108	0,155	0,085
5	400	4,8	0,148	0,217	0,105
6	500	6,0	0,194	0,280	0,130
7	600	7,1	0,237	0,368	0,158
8	700	8,3	0,289	0,469	0,197
9	800	9,5	0,347	0,620	0,250
10	900	10,7	0,420	-	0,328

11	1000	11,9	0,511	-	-
Maximálna sila $F_{i,max}$ (kN)			1040	860	990
Čas do dosiahnutia max. sily (min)			18	15	15
Tlačená plocha A_i (mm²)			84000	84000	84000
Pevnosť muriva f_i (N/mm²)			12,4	10,2	11,8
Priemerná pevnosť muriva f (N/mm²)			11,5		
Charakteristická pevnosť muriva f_k (N/mm²)			9,6		
Pomerné pretvorenie v 1/3 max. sily ε_i (-)			0,000902	0,001059	0,000624
Modul pružnosti muriva E_i (N/mm²)			4600	3200	6300
Priemerný modul pružnosti muriva E (N/mm²)			4700		

4 NUMERICKÉ OVERENIE PÔSOBENIA KLENBY BEZ SPOLUPÔSOBENIA BOČNÝCH STIENOK A SO SPOLUPÔSOBENÍM BOČNÝCH STIENOK

Numerické overenie pôsobenia klenby bez spolupôsobenia bočných stienok a so spolupôsobením bočných stienok je v práci riešené v programovom prostredí ATENA 3D od Červenka Consulting, ktorý je určený na nelineárne analýzy konštrukcií, pracuje metódou konečných prvkov a vieme v ňom modelovať priestorové útvary.

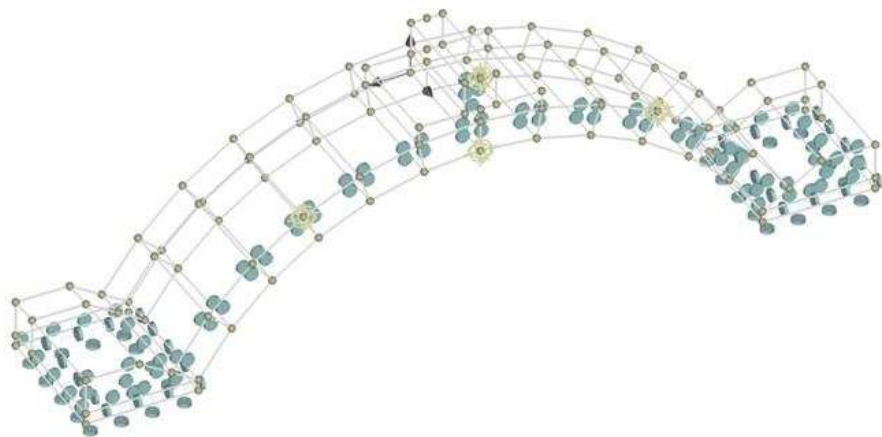
Kvôli porovnaniu nameraných výsledkov na experimentálnych vzorkách murovaných klenieb boli vytvorené v programe dva modely. Geometria klenby v oboch modeloch je rovnaká, rozdiel je len v tom, že jeden model obsahuje aj bočnú stienku a druhý je bez bočnej stienky (tak ako boli urobené aj experimentálne vzorky).

Vzhľadom na časovú náročnosť pri nelineárnych výpočtoch priestorových a zaoblených konštrukcií sú obidva modely oproti experimentu len polovičné a symetrické na pozdĺžnu os. Na takto upravených modeloch majú vypočítané sledované výsledky len polovičné hodnoty oproti nameraným sledovaným hodnotám na experimentálnych vzorkách murovaných klenieb. Tuto skutočnosť bolo nutné zohľadniť pri porovnávaní výsledkov experimentálnych meraní a numerického modelovania. Takéto modely (polovičné symetrické na pozdĺžnu os)

boli zvolené z toho dôvodu, aby sa zrýchlil čas modelovania a aj čas výpočtu. Samozrejme bolo možné modelovať vzorky aj ako celok – celé vzorky (čo by bolo časovo náročnejšie na modelovanie a aj na výpočtový čas), alebo bolo možné využiť len štvrtinový model. Pri štvrtinovom modeli bola však obava, či by sa dostatočne vystihlo skutočné pôsobenie bočných stienok.

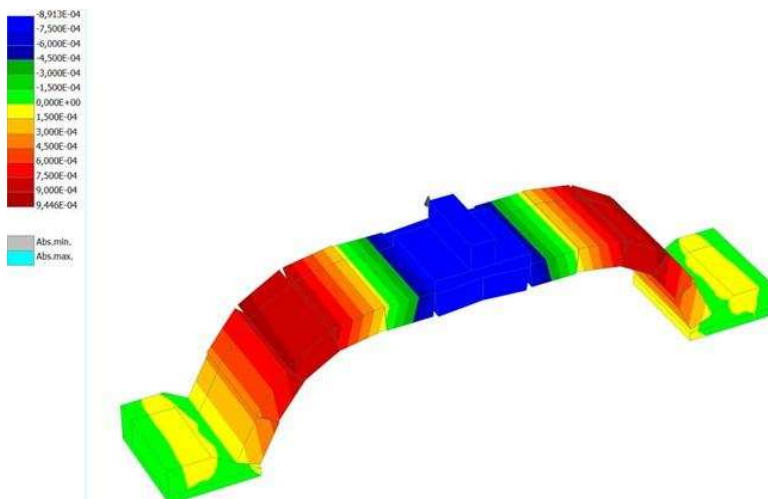
Spôsob matematického modelovania muriva bol zvolený metódou zjednodušeného mikro-modelu, ktorý je vytvorený geometricky rozšírenými spojitými murovacími jednotkami s nespojitými prvkami, ktoré vystihujú chovanie malty v škárach a aj rozhranie medzi murovacím prvkom a maltou.

Axonometrický pohľad na model experimentálnej vzorky murovanej klenby bez bočnej stienky (iba klenba) vytvorený v programe ATENA 3D [3] je znázornený na Obr. 9.



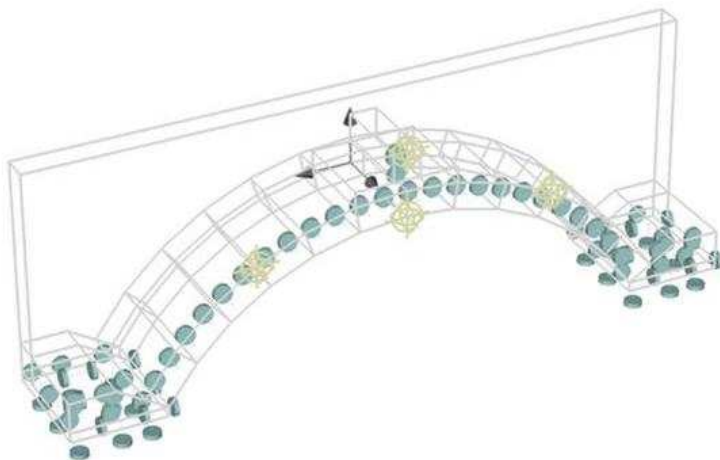
Obr. 9: 3D pohľad na polovičný model experimentálnej vzorky murovanej klenby bez bočnej stienky

Pohľad na zdeformovaný model experimentálnej vzorky murovanej klenby bez bočnej stienky s hodnotami deformácií vo zvislom smere pred porušením je znázornený na Obr. 10.



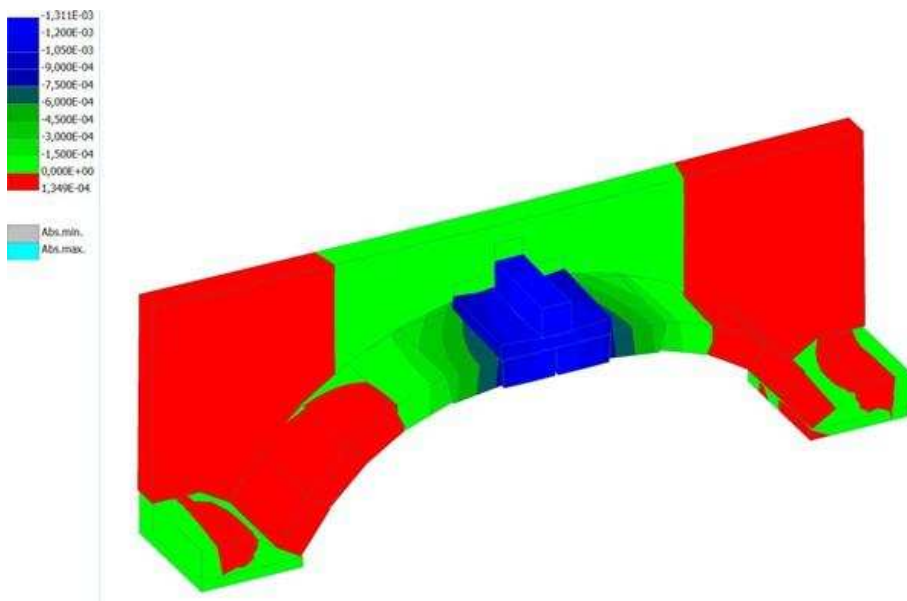
Obr. 10: Zdeformovaný model experimentálnej vzorky murovanej klenby bez bočnej stienky s hodnotami deformácií vo zvislom smere pred porušením.

Axonometrický pohľad modelu experimentálnej vzorky murovanej klenby s bočnou stenou vytvorený v programe ATENA 3D [3] je znázornený na Obr. 11.



Obr. 11: 3D pohľad na polovičný model experimentálnej vzorky murovanej klenby s bočnou stenou

Pohľad na zdeformovaný model experimentálnej vzorky murovanej klenby s bočnou stenkou s hodnotami deformácií vo zvislom smere pred porušením je znázornený na Obr. 12.



Obr. 12: Zdeformovaný model experimentálnej vzorky murovanej klenby s bočnou stenkou s hodnotami deformácií vo zvislom smere pred porušením

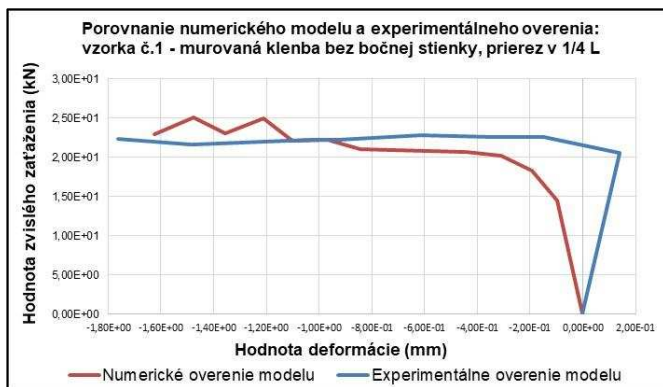
5 POROVNANIE VÝSLEDKOV Z NUMERICKEJ ANALÝZY A EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA

Základný prehľad experimentálneho merania opisuje, aká je veľkosť pôsobiacej sily a zvislej deformácie v strede rozpätia pri kolapse experimentálnej vzorky a numerických modelov, pozri Tab. 9.

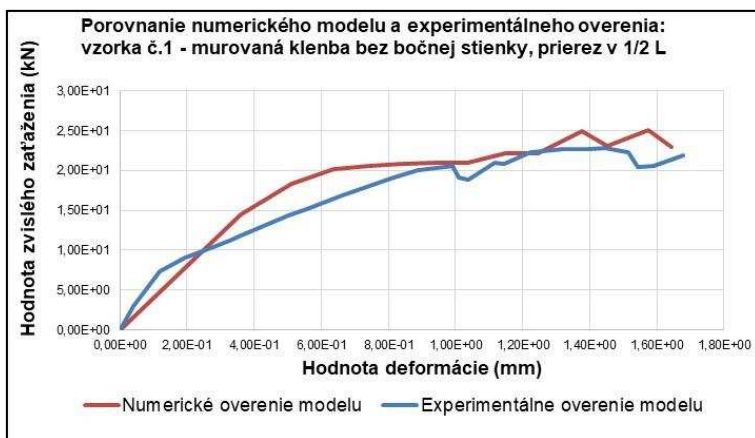
Tab. 9: Veľkosť pôsobiacej sily a závislej deformácie v strede rozpätia pri kolapse experimentálnej vzorky

Číslo vzorky		1	2	3	4
Experiment	Max. sila pôsobiaca pri porušení vzorky [kN]	22,82	24,69	107,16	141,97
	Priemerná hodnota	23,76		124,57	
	Deformácia v strede rozpätia pri pôsobení max. sily [mm]	1,42	1,49	1,14	1,24
	Priemerná hodnota	1,46		1,19	
Numerický model	Označenie modelu	Bez stienky		So stenkou	
	Max. sila pôsobiaca pri porušení vzorky [kN]	25,10		132,00	
	Deformácia v strede rozpätia pri pôsobení max. sily [mm]	1,57		2,62	

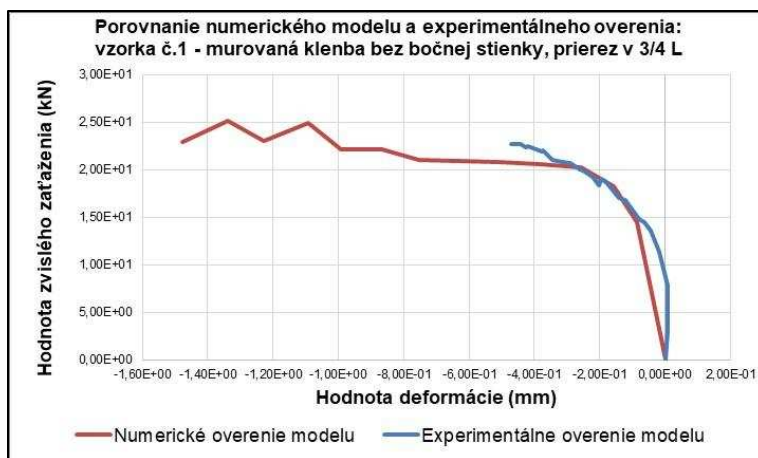
Grafické znázornenie porovnania závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v prierezoch v $1/4$, $1/2$ a $3/4$ rozpätia klenby medzi hodnotami získanými z numerických modelov a experimentálneho overenia všetkých vzoriek je uvedené na obrázkoch Obr. 13 až Obr. 24. Krivky z experimentálnych meraní v grafoch však už boli upravené tak, aby nezobrazovali odľahčenia – takže sú zobrazené maximálne hodnoty po krokoch zaťaženia (bez odľahčenia) – tak ako to bolo modelované.



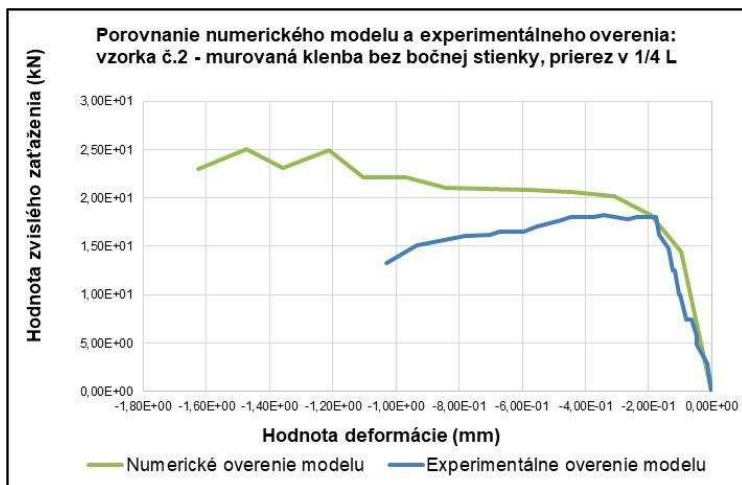
Obr. 13: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v priereze v $1/4$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.1 (klenba bez bočnej stienky).



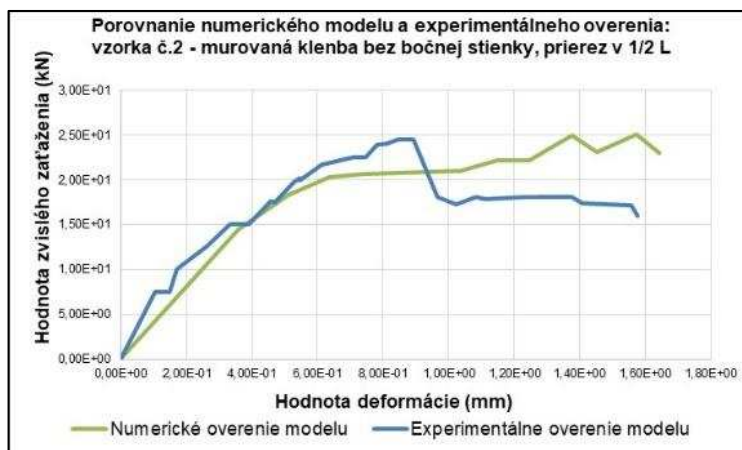
Obr. 14: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v priereze v $\frac{1}{2}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.1 (klenba bez bočnej stienky).



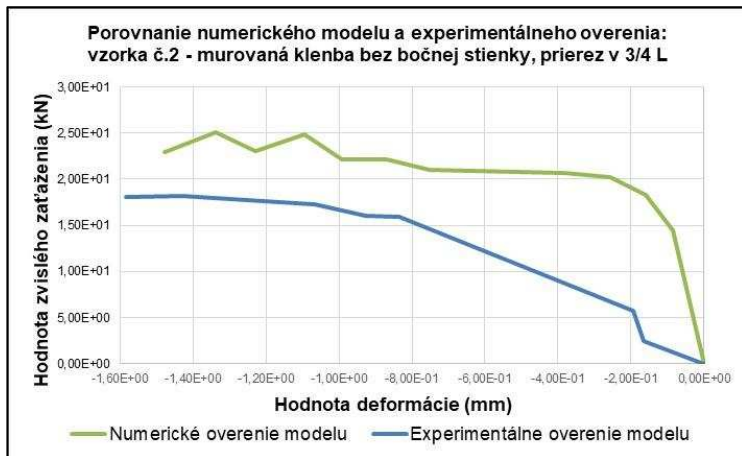
Obr. 15: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v priereze v $\frac{3}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.1 (klenba bez bočnej stienky).



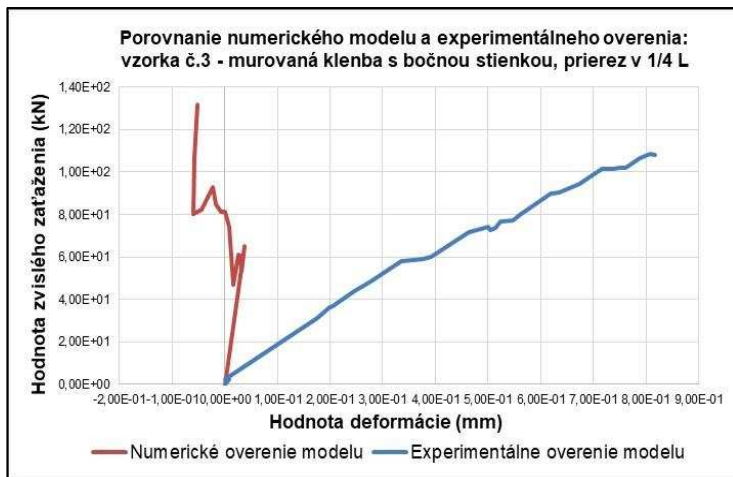
Obr. 16: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{1}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.2 (klenba bez bočnej stienky).



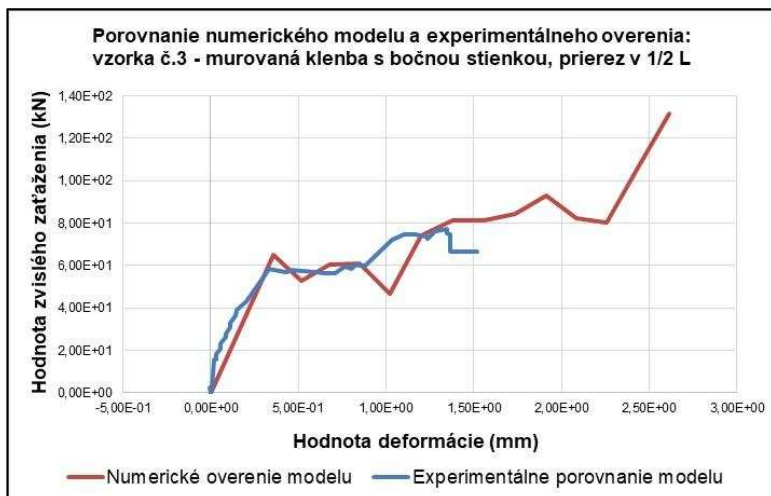
Obr. 17: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{1}{2}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.2 (klenba bez bočnej stienky).



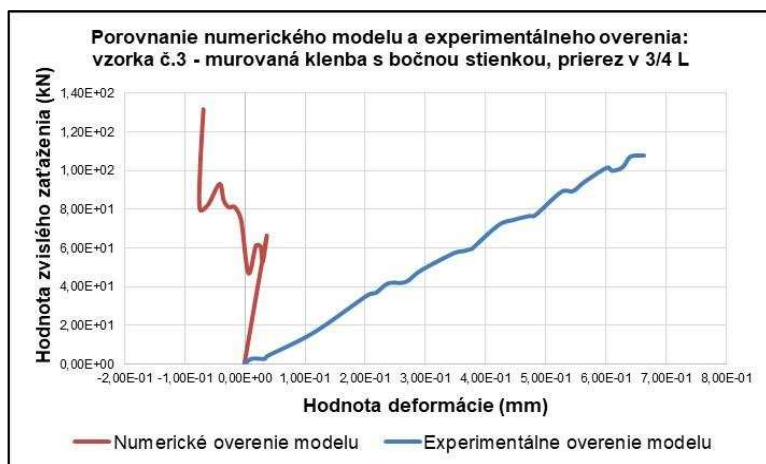
Obr. 18: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v priereze v $\frac{3}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.2 (klenba bez bočnej stienky).



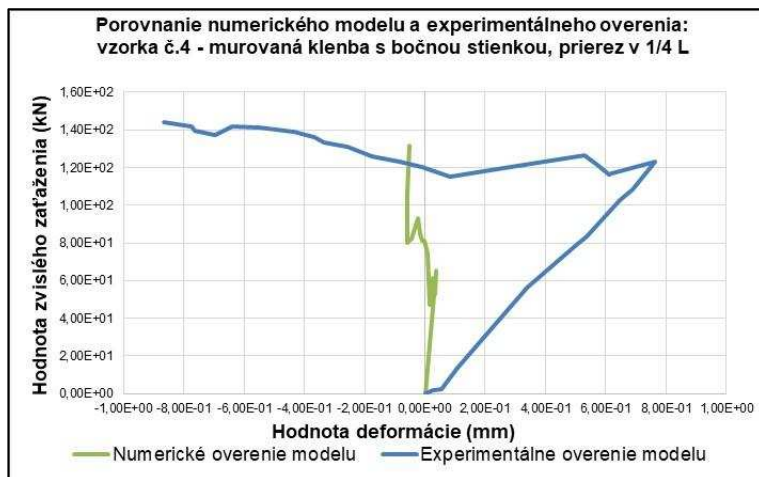
Obr. 19: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti závislej deformácie v priereze v $\frac{1}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.3 (klenba s bočnou stenou).



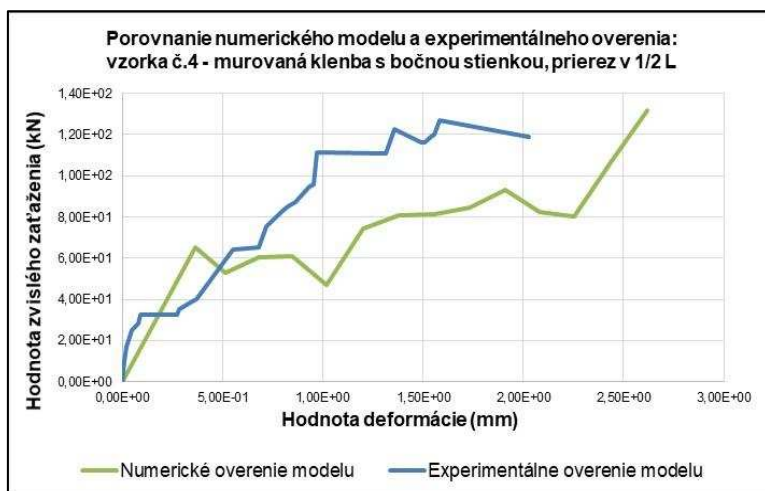
Obr. 20: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{1}{2}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.3 (klenba s bočnou stenkou).



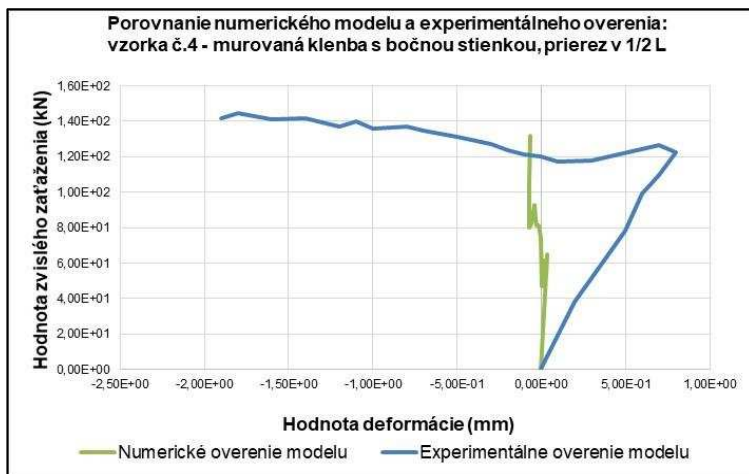
Obr. 21: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{3}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.3 (klenba s bočnou stenkou).



Obr. 22: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{1}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.4 (klenba s bočnou stenkou).



Obr. 23: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{1}{2}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.4 (klenba s bočnou stenkou).



Obr. 24: Porovnanie závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v priereze v $\frac{3}{4}$ rozpätia medzi hodnotami získanými z numerického modelu a experimentálneho overenia vzorky č.4 (klenba s bočnou stenkou).

Z výsledkov vyplýva, že numerické modely vcelku dobre korešpondujú s experimentálnymi meraniami. V prípade klenby bez stienok boli v numerickom modeli dosiahnuté väčšie hodnoty zaťaženia a aj deformácie. Nejde však o veľký rozdiel – v prípade maximálnej sily ide o rozdiel iba 5,64% (väčšia sila z numerického modelu ako priemer z experimentu). Deformácia je väčšia o 7,53%. Tento rozdiel začal nastávať až v druhej polovici grafov, kedy už začali experimentálne vzorky kolabovať.

Ak sa uvažuje s klenbou so stenkami, tak výsledky z numerického modelu sú medzi krivkami z experimentálnych meraní. Rozdiel hodnoty maximálnej sily pri porušení je taktiež iba približne 5,96%. Avšak v prípade deformácie je deformácia v numerickom modeli viac ako 2-násobná. Tu sa to dá vysvetliť tým, že v rámci experimentálneho merania sa pri zaťažovaní vzoriek č.3 a č. 4 prestalo zaťažovať a skúšať pomerne skoro po porušení stienok nad vrcholom klenieb, keď sa začala zdvíhať jedna strana so stenkou (nesymetrické porušenie). Aj keď klenby nepadli, považovali sa to za porušenie. Numerický model však stále za touto hranicou bol schopný počítať, bez toho, aby sa výrazne zväčšovala sila od zaťaženia.

6 ZÁVER

Dizertačná práca sa zaoberá skutočným pôsobením klenbových murovaných mostov so zameraním sa na ich statickú odolnosť pri analýze s uvážením spolupôsobenia bočných stienok s oblúkom klenbového mosta, respektíve ak sa analyzuje len samotný klenbový oblúk mosta.

V rámci experimentálnej časti dizertačnej práce prebiehali skúšky na dvoch vzorkách murovaných klenieb bez bočnej stienky a na dvoch vzorkách murovaných klenieb s bočnými stenkami. Kvôli porovnaniu nameraných výsledkov na experimentálnych vzorkách murovaných klenieb boli vytvorené v programe ATENA 3D | version 5.9.2.0 | dva modely. Geometria klenby v oboch modeloch bola rovnaká, rozdiel je len vtom, že jeden model obsahoval aj bočnú stienku a druhý bol bez bočnej stienky.

Z výsledkov vyplýva, že numerické modely vcelku dobre odpovedajú experimentálnym meraniam. Z porovnania závislosti zaťaženia klenby v strede rozpätia k veľkosti zvislej deformácie v prierezoch v $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ rozpätia klenby medzi hodnotami získanými z numerických modelov a experimentálneho overenia všetkých vzoriek vyplýva, že odolnosť murovanej klenby s bočnými stenkami je viac ako štvornásobný (4,5 až 5-násobný). V dizertačnej práci je aj preukázané, že účinok bočnej stienky stabilizuje chovanie sa klenby proti zvislým deformáciám hlavne v $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ svetlosti. Bočná stienka a jej interakcia s klenbovým oblúkom mosta významne vplýva teda hlavne na odolnosť klenby. V malej miere však bočné stienky spôsobujú aj znižovanie deformácií klenby pri porušení, čo nemusí byť priaznivé z praktického hľadiska. Dá sa povedať, že pomáhajú zvyšovať aj tuhosť klenby. Pre numerické modelovanie pri analýzach klenbových mostov v praxi sa odporúča využívať numerické modely so spolupôsobením bočných stienok. V zápatí je nutné aj zdôrazniť, že vplyv bočnej stienky na odolnosť klenby závisí na šírke klenby, presnejšie povedané vplyv bočnej stienky je väčší na odolnosť klenby s menšou šírkou klenby – užšie mosty. V neposlednom rade je nutné zahliadť aj poruchy analyzovaných klenieb. Hlavne či je prítomná pozdĺžna trhlinka na okraji v podhlade klenby pri spojení klenby s bočnou stenkou. V takomto prípade nie je možné odporúčať využívať matematické modely so spolupôsobením bočných stienok.

VÝBER Z POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Proske, D. Van Gelde, P. Safety of Historical Stone Arch Bridges, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [2] STN EN 1052-1: 2000 Skúšobné metódy pre murivo. Časť 1: Stanovenie pevnosti v tlaku.
- [3] Červenka, V., Jendele, L. Atena Program Documentation, Part 1, Theory, Prague, August 23, 2007.

PUBLIKOVANÉ ČLÁNKY

- [1] Kotula, P. – Koteš, P. – Kridla, O. – Vavák, B. Diagnostic and analysis of selected masonry railway bridges on Slovak Railways [print, electronic] [Diagnostika a analýza vybraných murovaných železničných mostov na Železniciach SR] In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava [print, electronic] = Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series : Řada stavební. - ISSN 1213-1962. - Roč. 22, č. 2 (2022), s. 12-15 [print, online].
- [2] Kotula, P. – Kridla, O. – Vavák, B. Monitoring a diagnostika železničného mosta v km 82,589 trate Margecany – červená skala In: Betonárske dni 2022: zborník príspevkov. 1. vyd. – Bratislava: Spektrum STU, 2022. ISBN 978-80-227-523-0. – s. 335-340
- [3] Kotula, P. – Kridla, O. Masonry arch bridges in long-term operation on Slovak railway network [electronic], In: European association on quality control of bridge and structures [print, electronic] : conference. - 1. vyd. - Cham: Springer Nature, 2022. - ISBN 978-3-030-91876-7. - s. 102-107.
- [4] Kotula, P. – Kridla, O. Murované klenbové mosty v dlhodobej prevádzke na tratiach ŽSR, In: Betonárske dni 2020 a 6. post kongresové kolokvium SNK fib:

zborník príspevkov z konferencie. – 1.vyd. – Bratislava: Spektrum STU. 2 020. – ISBN 978-80-227-5047-9. – s. 101-106.

- [5] Gocál, J. – Vičan, J. – Odrobiňák, J. – Bahleda, F. – Hlinka, R. - Kridla, O.
Analýza správania sa oceľových mostníc na železničnom moste s prvkovou mostovkou, In: 46. aktív pracovníkov odboru oceľových konštrukcií [print]: zborník prednášok. 1. vyd. – Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2023. ISBN 978-80-554-1697-1. – s. 74-85 [print]
- [6] Hlinka, R. - Odrobiňák, J. – Prokop, J. – Vičan, J. – Kridla, O. – Vavák, B.
Evaluation of riveted railway bridge using experimental-numerical analyses [electronic] [Hodnotenie nitovaného železničného mosta s použitím experimentálno-numerických analýz] In: IABSE Symposium Prague, 2022 [print] : challenges for existing and oncoming structures - report. - 1. vyd. - Zürich: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2022. - ISBN 9783857481833. - s. 1115-1122. Zaradené v: SCOPUS.
- [7] Zitrický, A. – Kridla, O. – Ždanská, Z. – Huková M., Zosilňovanie a sanácia mostov na ozubnicovej železnici [electronic], In: STRAHOS 2022 [electronic] : zborník prednášok. 1. vyd. – Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2022. ISBN 978-80-554-1900-8. – s. 108 - 116 [CD-ROM]
- [8] Koteš, P. – Vavruš, M. – Bahleda, F. - Kridla, O. – Vavák, B. - Zitrický, A.
Mostné objekty na ozubnicovej železnici [print] : Časť 1 : Prehliadka a diagnostika / Peter Koteš ... [et al.].
In: Betón na Slovensku 2018 - 2022 [print] : zborník prednášok z konferencie SNK fib pri príležitosti 6. fib kongresu - Oslo, 2022. - 1. vyd. - Bratislava: Slovenský národný komitét fib, 2022. - ISBN 978-80-8200-107-8. - s. 230-235 [print]
- [9] Koteš, P. – Vavruš, M. – Bahleda, F. - Kridla, O. – Vavák, B. - Zitrický, A. - Rey, M. Mostné objekty na ozubnicovej železnici [print] : Časť 2 : Prepočet a návrh rekonštrukcie, In: Betón na Slovensku 2018 - 2022 [print] : zborník prednášok z konferencie SNK fib pri príležitosti 6. fib kongresu - Oslo, 2022. - 1. vyd. -

- Bratislava: Slovenský národný komitét fib, 2022. - ISBN 978-80-8200-107-8. - s. 314-319 [print].
- [10] Kotula, P. – Koteš, P. – Kridla, O., Vybrané problémy klenbových mostov v sieti ŽSR, In: 12. SEMINÁR „SANÁCIA BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ“ 30.11. - 1.12. 2023, Smolenice, Zborník prednášok
- [11] Kridla, O. – Koteš, P. – Kotula, P. Experimentálna analýza klenbových mostov v laboratórnych podmienkach, In: BETONÁRSKE DNI 2024, 10.-11.10.2024, Bratislava, Zborník prednášok.
- [12] Kridla, O. – Koteš, P. – Kotula, P. EXPERIMENTÁLNO-NUMERICKÁ ANALÝZA KLENBOVÝCH MOSTOV, In: 1. medzinárodná konferencia so zameraním na Správu hodnotenie a rehabilitáciu existujúcich mostov, 5.-7. november 2025, Žilina, Zborník prednášok.
- [13] Kridla, O. – Koteš, P. – Kotula, – Vavák, B. Klenbové železničné mosty v sieti ŽSR: Kultúrne dedičstvo a technické výzvy historických konštrukcií, In: 30. ročník konferencie "Železniční mosty a tunely 2026", 22.1.2026 Praha, [electronic] Zborník prednášok.
- [14] Koteš, P. - Křídla, O. - Vavruš, M. - Bahleda, F. - Zahuranec, M. - Prokop, J. - Farbák, M. Verification of Possibility of Using Prestressed CFRP Strips to Strengthen Concrete Box Girder Bridge—Case Study. *Infrastructures* 2026, 11, 180. <https://doi.org/10.3390/infrastructures11050180>
- [15] Koteš, P. - Strieška, M. - Křídla, O. - Řeháček, S. Diagnostika a prepočet prefabrikovanej predpätej mostnej konštrukcie z nosníkov typu KA-93, In: Sanácia betónových konštrukcií [textový dokument (print)] : zborník príspevkov z 11. Seminára, Spektrum STU, 2019. – ISBN 978-80-227-4973-2.
- [16] Kotula, P. – Kridla, O. – Vavák, B. - Moravčík, M. Metodika posudzovania predpätých mostov s praktickou aplikáciou – Orlov – Podolinec, In: STRAHOS 2024 [elektronický dokument]: zborník prednášok, Žilinská univerzita v Žiline, 2024. – ISBN 978-80-554-2123-0.
- [17] Koteš, P. - Bahleda, F. - Prokop, J. - Kral'ovanec, J. - Zahuranec, M.; - Křídla, O. Diagnostika a prepočet betónovej haly poškodenej požiarom, In: Beton -

technologie, konstrukce, sanace [textový dokument (print)] . – Praha (Česko) :
Beton TKS. – ISSN 1213-3116.

- [18] Koteš, P. - Kotula, P. – Kridla, O. – Vavák, B. Využitie existujúcich
železničných mostov ako súčasť novej pozemnej komunikácii medzi Púchovom
a Považskou Bystricou, In: Sanácia betónových konštrukcií [elektronický
dokument] : zborník príspevkov z 12. Seminára, Spektrum STU, 2023. – ISBN
978-80-227-5370-8.