
Diagnostika visutého mostu v Halifaxu (Kanada)

29. Mezinárodní symposium Mosty 2024, Brno

Vojtěch Kolínský

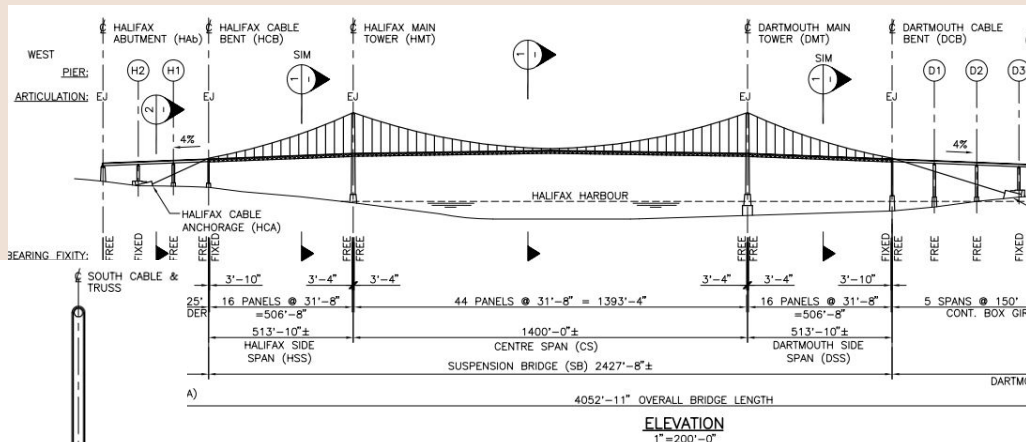
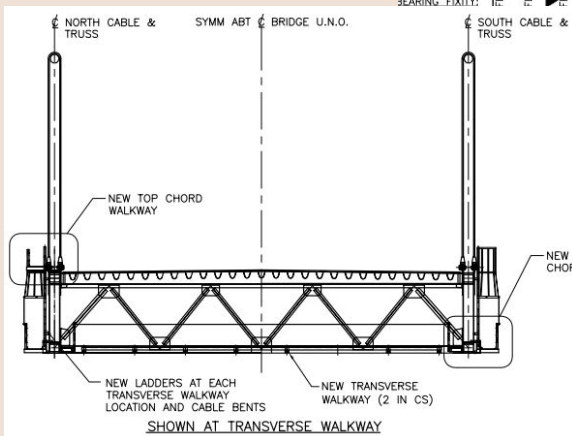
Úvod

- Diagnostika hlavních příhradových nosníků visutého mostu A. Murray MacKay v Halifaxu (Nové Skotsko – Kanada)
- Zadavatel: správce mostu Halifax Harbour Bridges (HHB)
- Zhotovitel: COWI North America (Halifax a Praha)
- Cílem bylo zhodnotit vliv poškození (korozního oslabení)

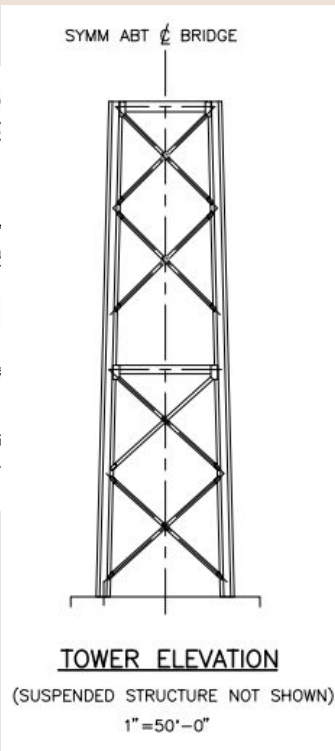


Popis mostu

- Celková délka (včetně předpolí) 1235 m
- 157+427+157 m
- Postaven 1970
- 54000 aut denně

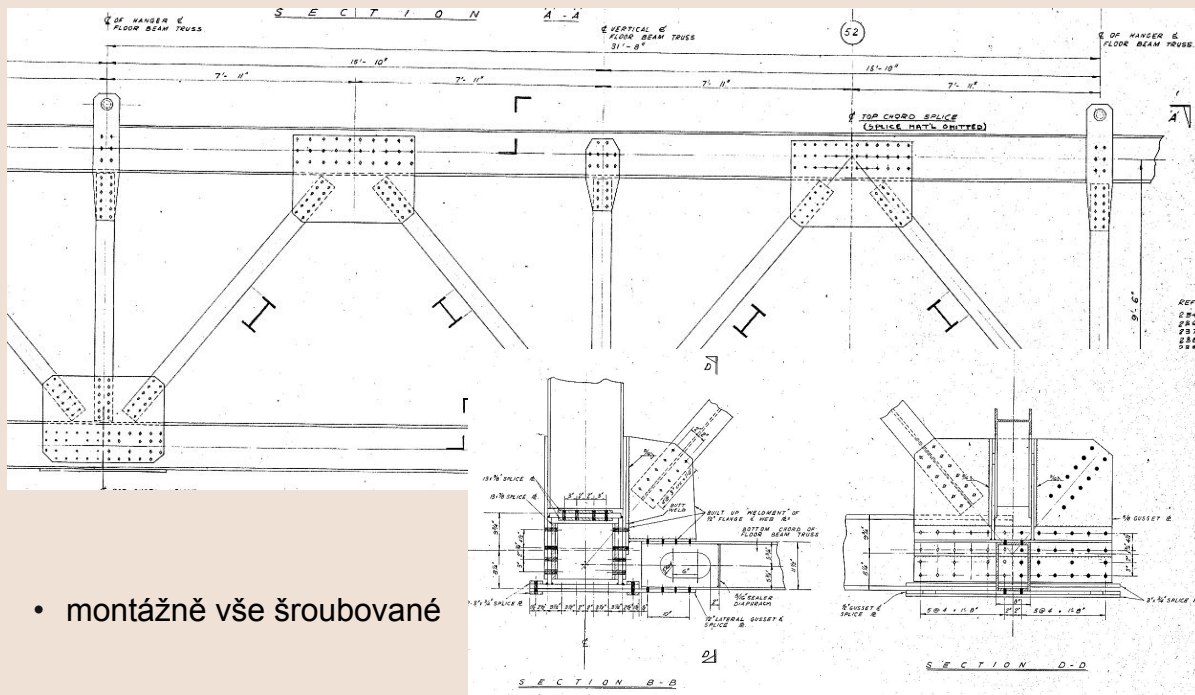
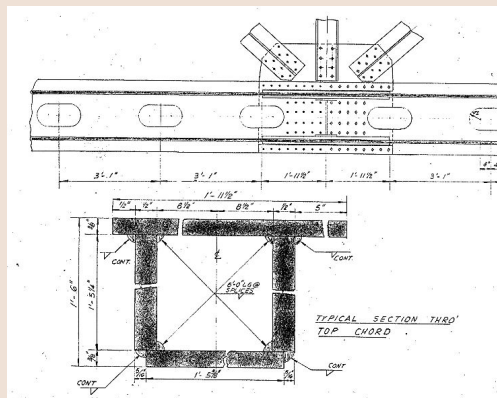


- Ocelové pylony výšky 87 m
- Dvojice hlavních nosných lan + závěsy po cca 10 m
- Mostovka š. 14.6 m (4 pruhy) – dvojice příhradových nosníků, příčné příhradové nosníky, ortotropní mostovkové panely (první použití v SA)



Popis mostu - detaily

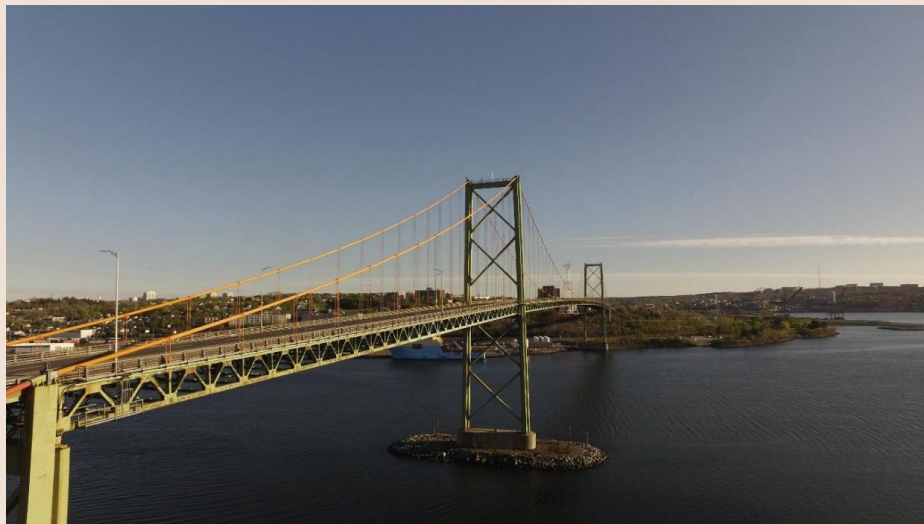
- Příhradový nosník:
 - 9.7 m vzdálenost závěsů
 - 2.9 m výška nosníku
 - Horní/dolní pas svařovaná komora 0.46 x 0.46 m – vylehčen otvory



- montážně vše šroubované

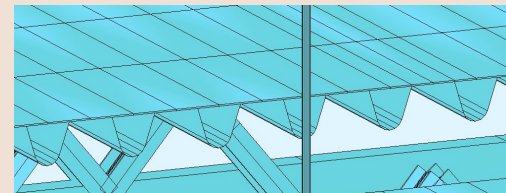
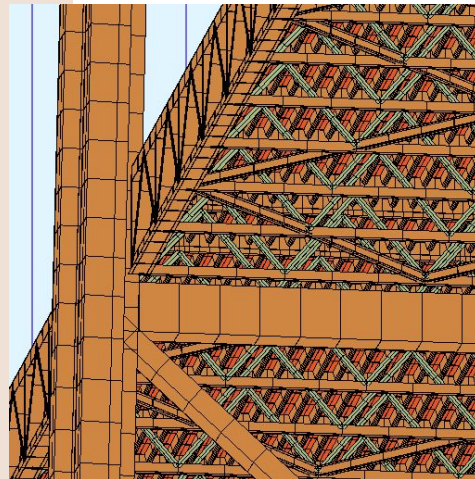
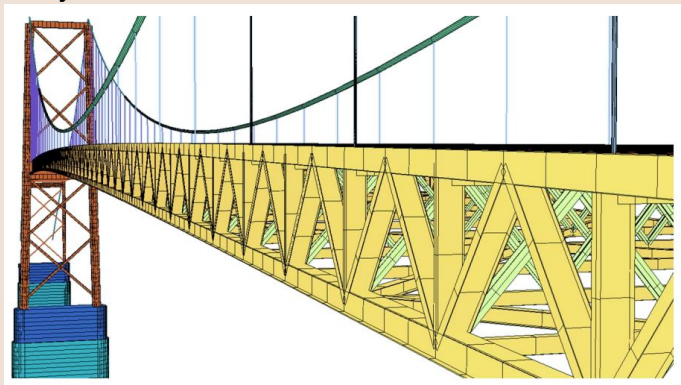
Cíle a metodologie

- Stanovení využití jednotlivých prvků hlavního příhradového nosníku – poměr návrhového zatížení a návrhové únosnosti (D/C – demand to capacity ratio)
- Vliv korozního oslabení
- Vliv jiných poruch (chybějící šrouby..)
- Globální FEM výpočetní model
- => posudky elementů a přípojů (Kapitola 14 CSA S6-19, AASHTO Manual of Bridge Evaluation)
- Hodně využitě prvky podrobně zkoumány na místě



Výpočetní model

- Komplexní 3D model
- Elementy příhrad a pylonů – prutové prvky
- Hlavní lana a závěsy – kabely
- Ortotropní mostovka – kombinace deskostěnových elementů a prutových výztuh



Výpočetní model



MS Excel



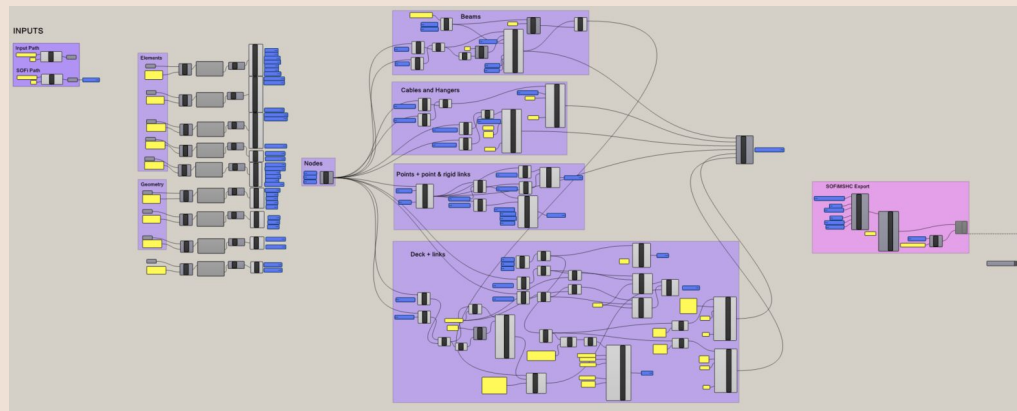
Python



Grasshopper 3D



- Parametrické workflow:
 - Možnost provádět úpravy geometrie
 - Zpřesňování modelu
 - Kontrola číslování elementů a uzlů

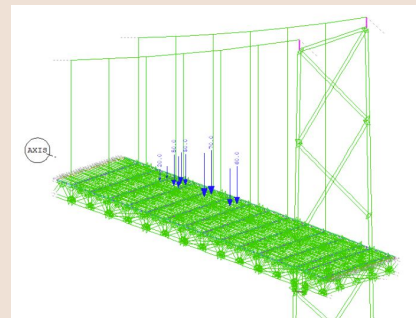


Výpočetní model

- “naladění” modelu – získání sil v kabelových prvcích odpovídající geometrii na konci výstavby a nulovému globálnímu namáhání mostovky
 - přesná definice vlastní tíhy – velká citlivost
 - okrajové podmínky, vertikální deformace mostovky $\Rightarrow 0$
 - “formfinding” – geometrie hlavních lan a základní (nepředepnutá) délka závěsů, iterativně nelineárním výpočtem
- Dlouhodobé protažení hlavního lana (Helocoidal section) – zvýšená deformace hlavního pole 508 mm
 - 1979 Lions Gate Bridge – Vancouver – 549 mm
 - 2004 Macdonald Bridge – Halifax – 305 mm
- Důsledně zaznamenat a vložit do modelu změny ve vlastní tíze od dokončení mostu (rekonstrukce, zesilování prvků atd.)

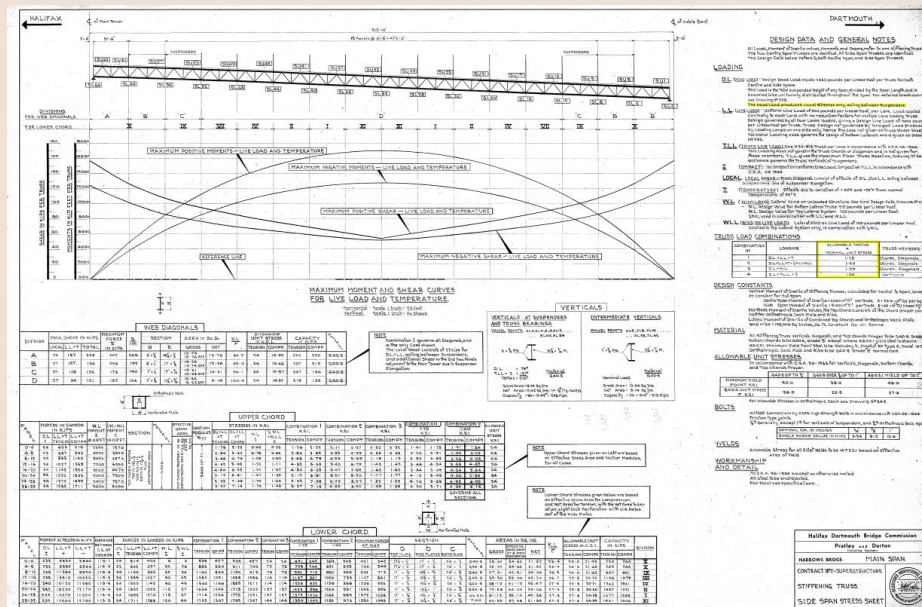
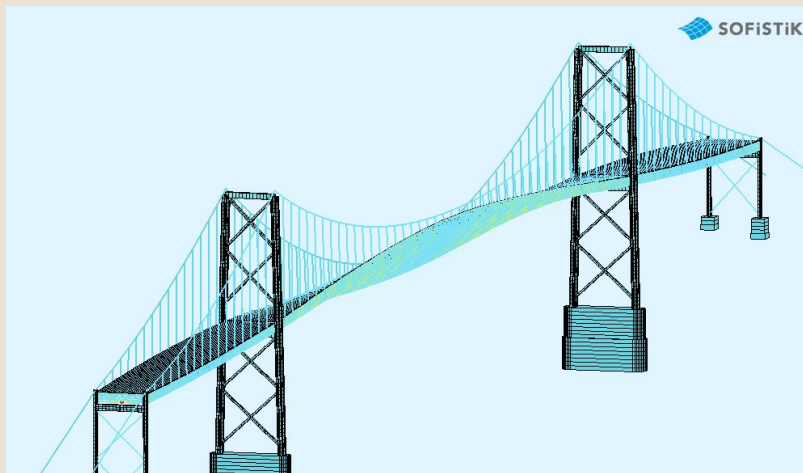


- Řešila se pouze kombinace ULS1 (stálé+doprava+dynamické účinky)
 - Shell deck – pojezdy s krokem – byla ověřena možnost počítat nezávisle lineárně a následně kombinovat
 - CSA (podobně jako AASHTO) uvažuje Multiple Presence Factor (MPF) – redukce dle počtu zatížených pruhů



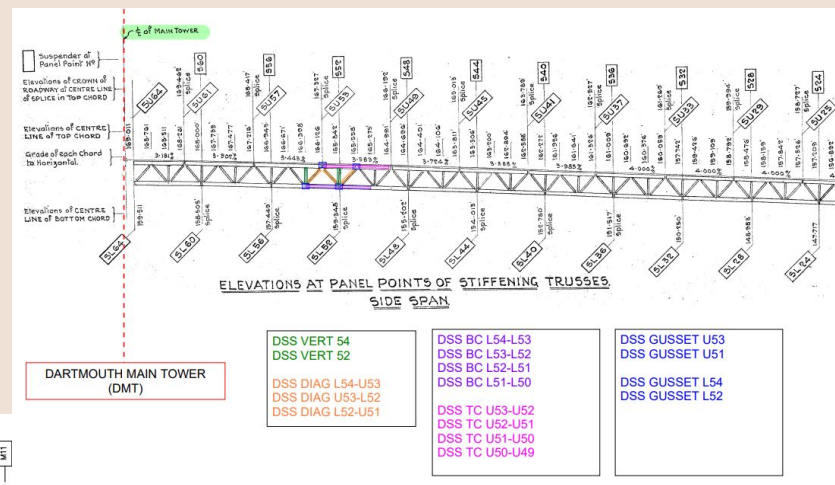
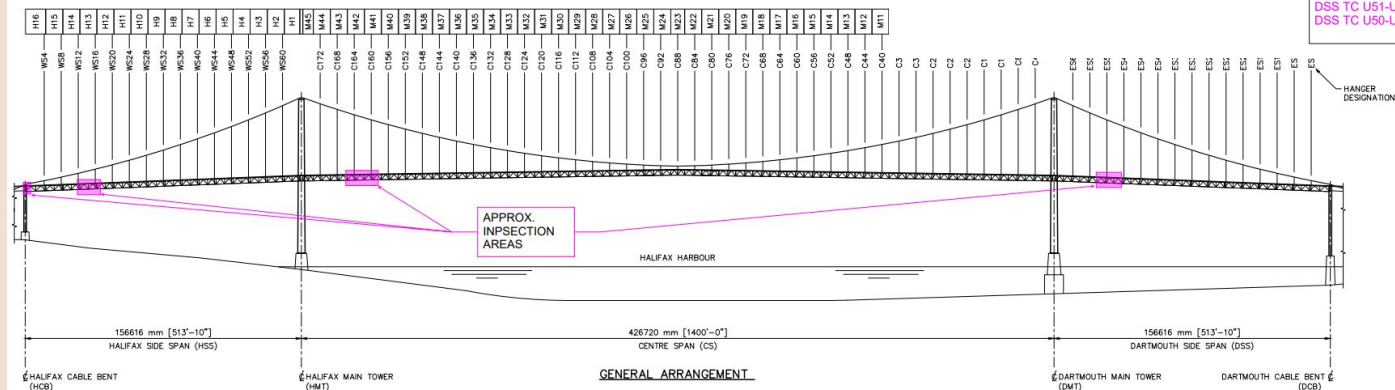
Výpočetní model - verifikace

- Původní dokumentace 1967 (deformace, síly, napětí)
- Předchozí analýzy z jiných software
- Vlastní frekvence – spočítané + měřené
- Ověřovaly se vlivy různých druhů nelineárních výpočtů



Diagnostika na mostě

- Lokalizováno do míst s největším vypočteným využitím a do míst s největším poškozením
- 68 elementů zkoumáno detailně
- Vizualní kontrola + ultrazvukové měření tlouštěk plechů



Diagnostika na mostě



Figure 202. Broken bolt on south truss of upper gusset near midspan of centre span (photo from HHB)



Figure 203. Missing bolt on south two bays east of prior photo in Centre Span (photo from HHB)



Figure 55. Maximum measured pitting depth of approximately 3.2 mm – S-ES-U51



Figure 56. Maximum measured pitting depth of approximately 3.2 mm – S-WS-U1



Figure 21. Example of a diagonal

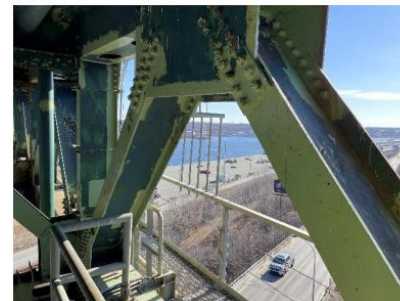


Figure 22. Example of a diagonal at a truss upper node



Figure 23. Example of a gusset with rust staining due to upper gusset above



Figure 24. Example diagonal deterioration near the lower truss nodes

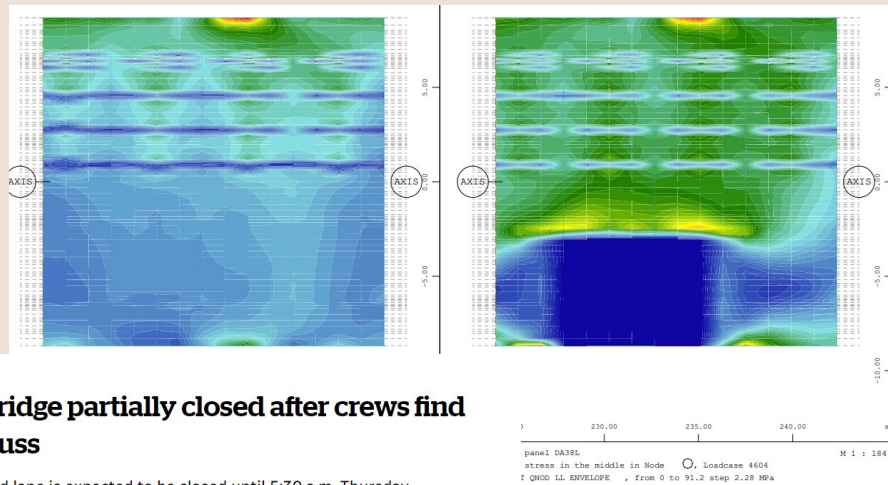
Závěry

- Vypočtená využití v souladu s výsledky předchozího přepočtu z roku 2012
- Zachycené korozní oslabení nezvyšuje významně využití jednotlivých prvků hlavního nosníku
- Horní pasy, svislice a všechny spoje OK
- Diagonály a dolní pasy – velmi vysoké využití
- Zásadní je zvýšení zatížení dopravou v nových verzích kanadské návrhové normy (bylo porovnáno i s návrhovými kombinacemi zatížení z doby návrhu mostu)
- Původní návrh mostu je velmi ekonomický => žádné rezervy u některých prvků (diagonály a dolní pasy)
- **Bylo doporučeno ověřit skutečnou aktuální intenzitu dopravy na mostě**



Další využití modelu a pohled do budoucna

- 12/2023 výměna několika mostovkových panelů (únavové trhliny)
- FEM model použit na ověření účinků dopravy při chybějícím panelu
- Probíhá soutěž na dlouhodobější analýzu – předpoklad větší rekonstrukce – kompletní výměna mostovky? (Lions Gate Bridge 2000, Macdonald Bridge 2015)



Nova Scotia

MacKay Bridge partially closed after crews find cracked truss

One Halifax-bound lane is expected to be closed until 5:30 a.m. Thursday

Anjali Patil - CBC News - Posted: Apr 17, 2024 5:38 PM EDT | Last Updated: April 17



Děkuji za pozornost

Ing. Vojtěch Kolínský, Ph.D., P.E.

COWI NA Operations, Southeast
Czech Republic

