



**C
E
S
T
I**

centre for
effective and
sustainable
transport
infrastructure

**Nástroj
pro optimalizaci
spřažených ocelobetonových
silničních mostů**

CompLOT – Composite Bridges Lifecycle Optimization Tool

- Nástroj optimalizující spřažené trémové mosty na základě LCC a LCA
- Návrh optimální konstrukce v rané fázi projektu
- Zvýšení konkurenceschopnosti ocelobetonových spřažených mostů
- Implementace metodiky pro stanovení udržitelnosti mostů
- Tabulkový vstup i výstup

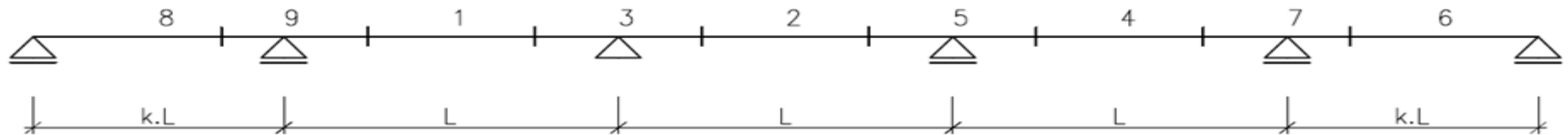
Obsah:

- Výpočetní model, analýza konstrukce
- Posouzení dle ČSN EN
- Stanovení výměr mostu
- Analýza životního cyklu – LCC a LCA
- Stanovení součinitele udržitelnosti
- Optimalizace



Statický výpočetní model konstrukce

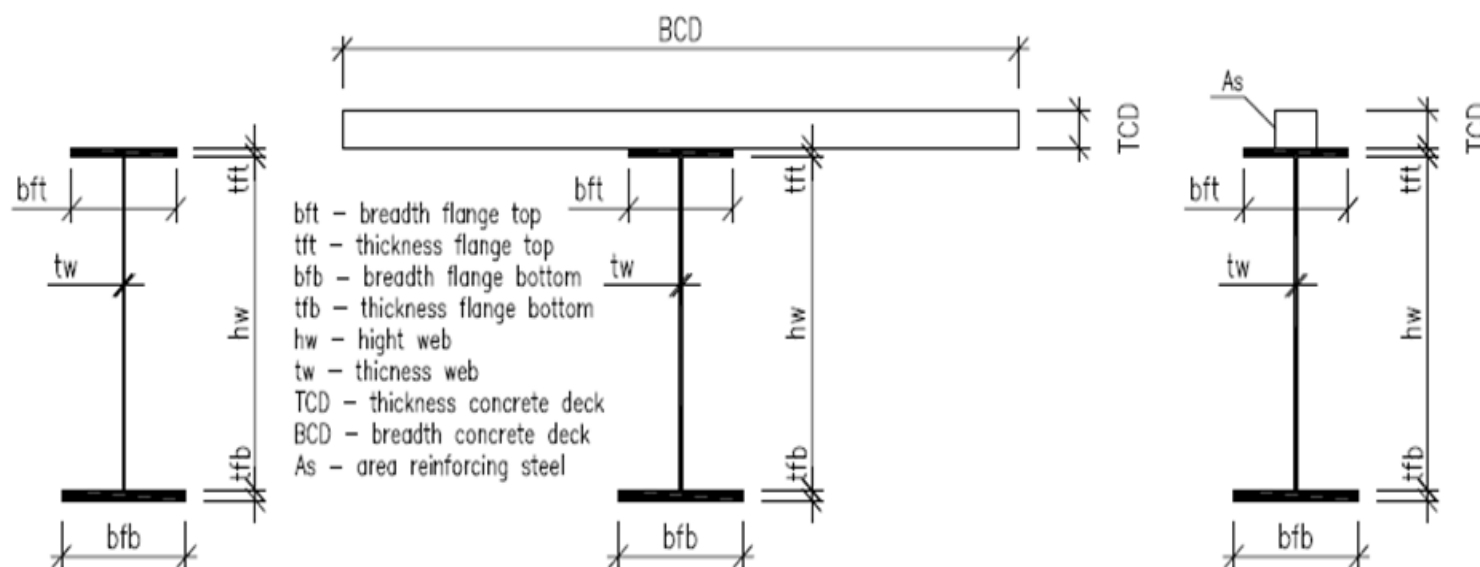
- 1D prutový model nejvíce zatíženého nosníku trémového mostu
- Definice konečných prvků
- Definice fází výstavby (postupná betonáž desky)
- Definice dočasných podpor při výstavbě



- Program generuje tabulku všech konečných prvků a uzlů u kterých uživatel definuje fázi betonáže případně přidání či odebrání dočasné podpory

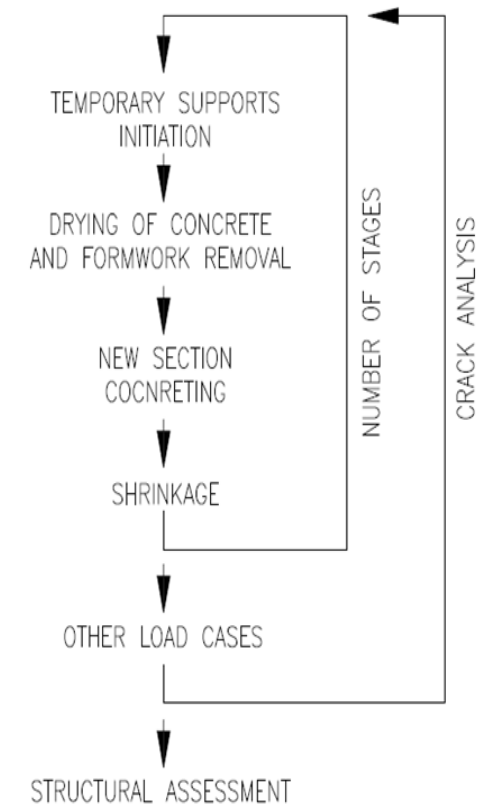
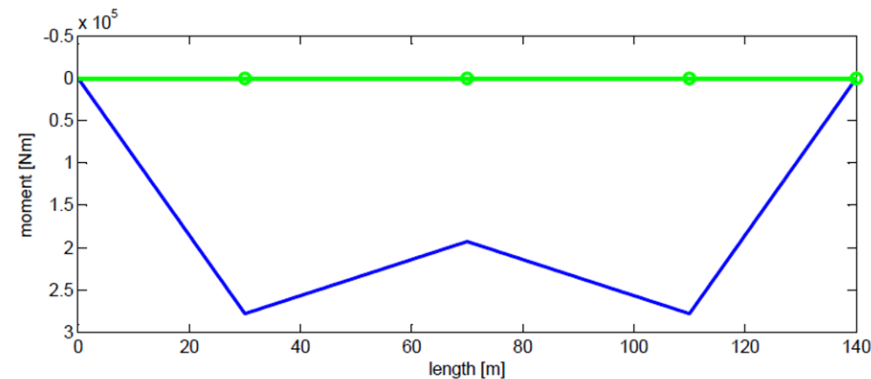
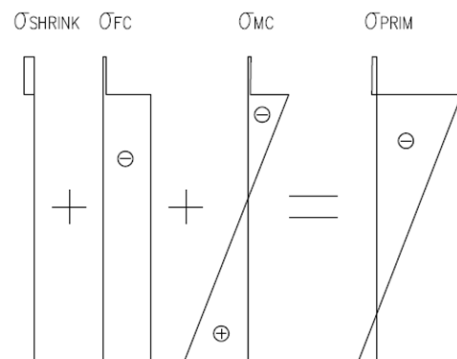
Příčný řez

- Automaticky generovaný příčný řez mostem na základě uživatelsky zadaného příčného uspořádání mostu
- Nejvíce zatížený nosník stanoven pomocí příčných příčinkových čar
- Zohlednění smykového ochabnutí desky na základě polohy prvku
- 3 typy průřezu



Lineárně pružná analýza

- Zohlednění časově závislých účinků – **Dotvarování** + **Smršťování**
- Výpočet primárních i sekundárních účinků od Smršťování
- Vliv **trhlin** v betonu – iterační postup
- Postup výstavby



Zatížení mostu

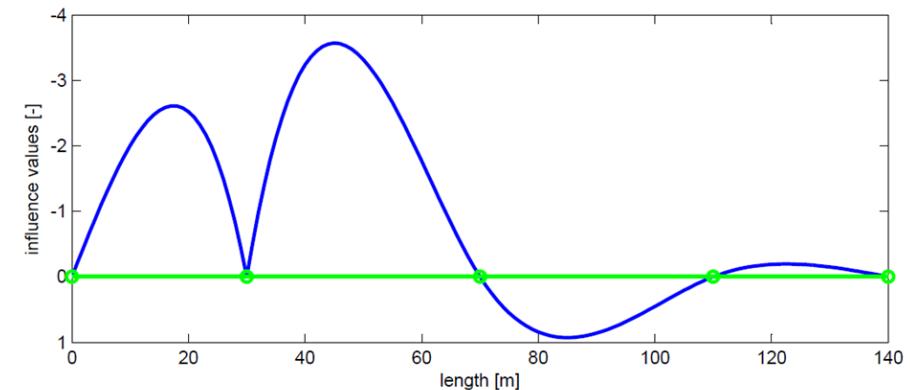
Stálé zatížení:

- Vlastní tíha, mostní svršek a vybavení, smršťování betonové desky

Proměnné zatížení:

- Model zatížení LM1 a LM3 – soustavy gr1 a gr5
- Model zatížení pro únavu LM1 a LM2
- Zatížení rovnoměrnou teplotou
- Zatížení nerovnoměrnou teplotou
 - primární i sekundární účinky
- Nerovnoměrné sedání konstrukce
- Staveništní zatížení

Stanovení pomocí příčkových čar



Kombinace zatížení

- Návrhové kombinace 6.10a, 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \zeta_j \gamma_j G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Posouzení konstrukce dle ČSN EN 1993-2 a ČSN EN 1994-2

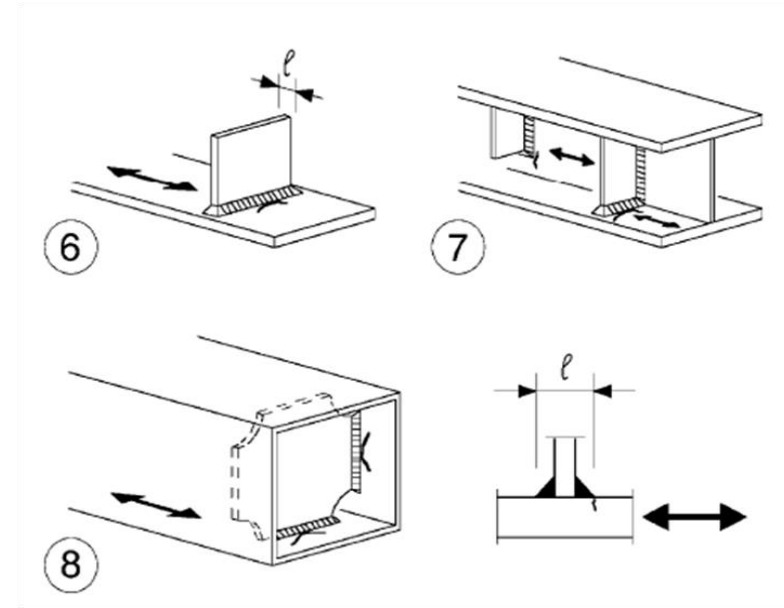
- Posouzení ve všech fázích životnosti mostu – a) Výstavba, b) Uvedení do provozu, c) Konec životnosti mostu

MSÚ – STR:

- Klasifikace ocelového průřezu, plastický posudek, pružný posudek, výpočet efektivního průřezu pro 4. třídu
- Výpočet boulení ve smyku
- Metoda redukovaných napětí pro spřažené průřezy

MSÚ – FAT:

- Posouzení kritických detailů dle ČSN EN 1993-9

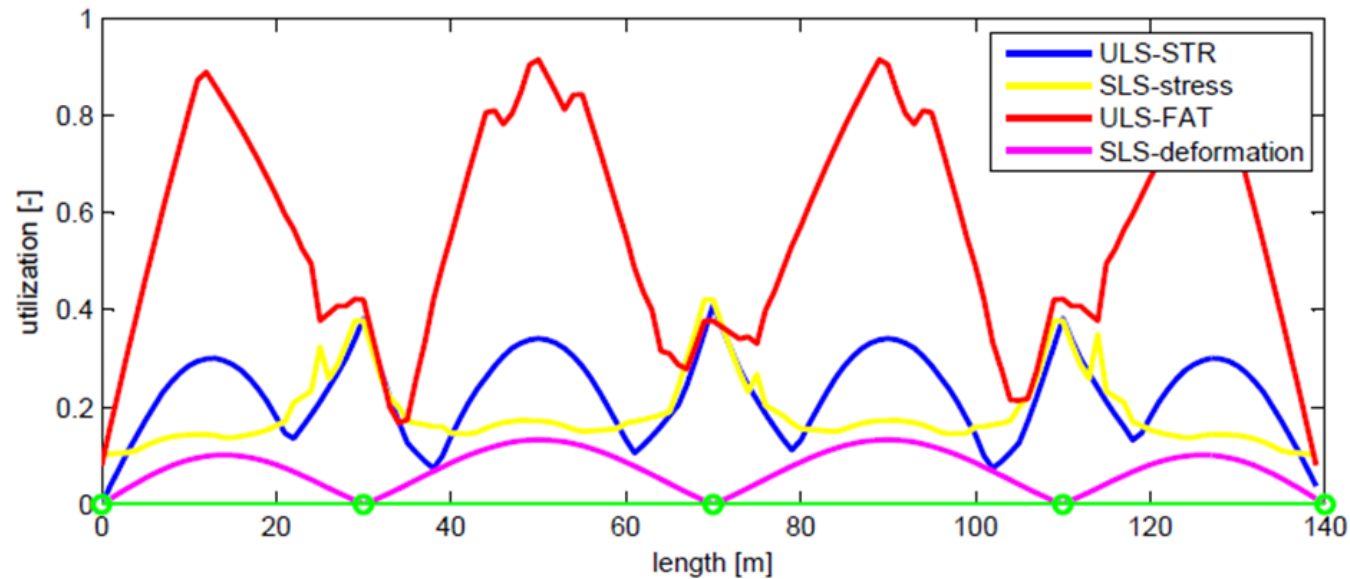


Posouzení konstrukce dle ČSN EN 1993-2 a ČSN EN 1994-2

MSP – STR:

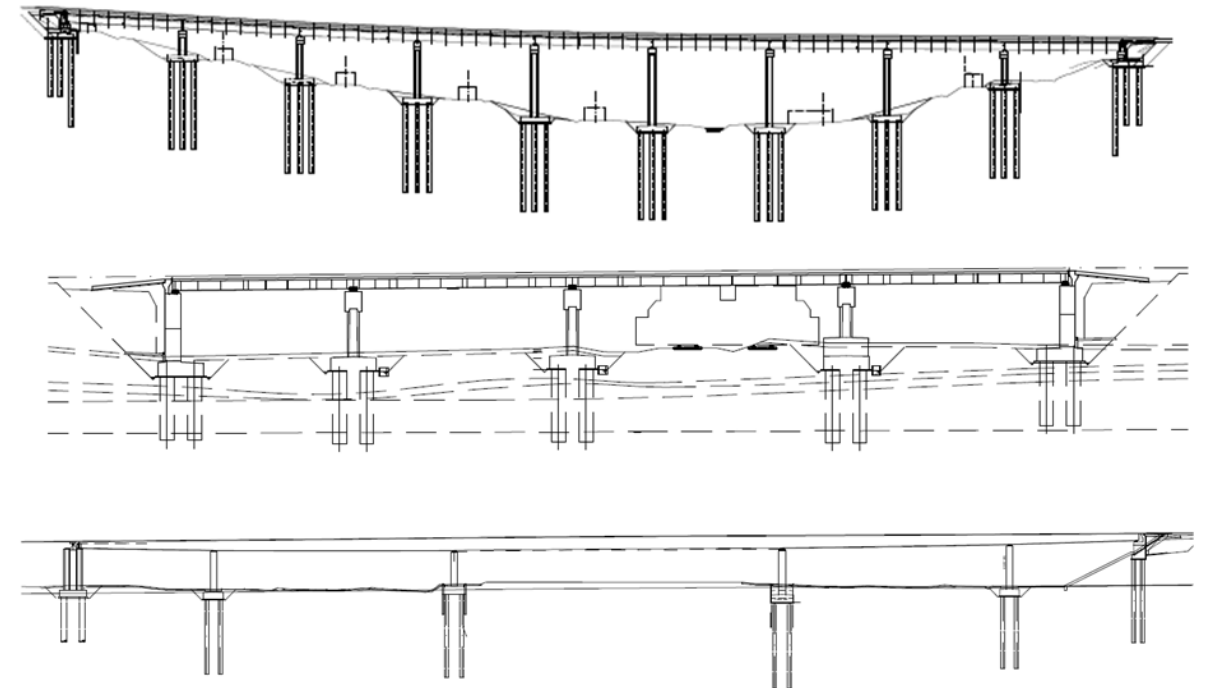
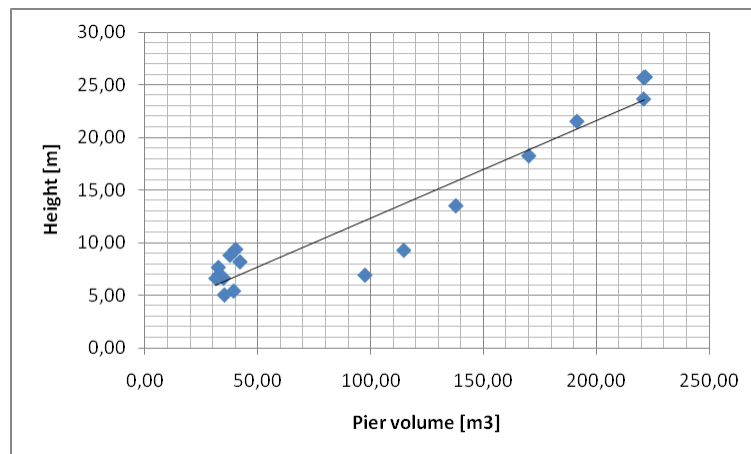
- Posouzení omezení napětí
- Posouzení omezení deformací od dopravy

Celkové využití konstrukce:



Výkaz výměr mostu

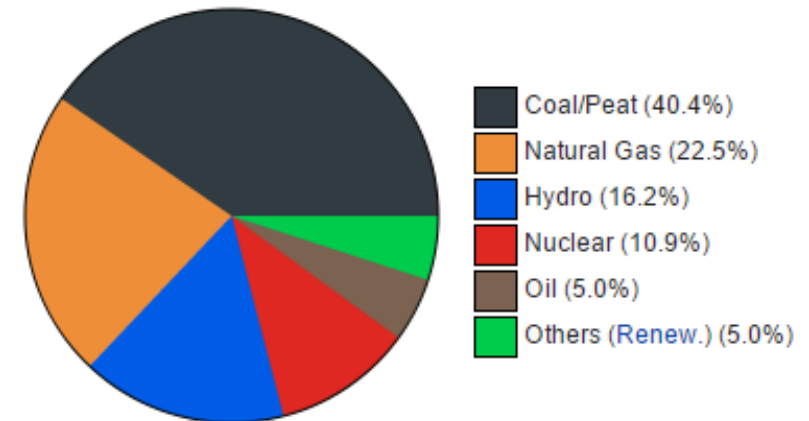
- Automaticky generovaný výkaz výměr
- Uživatelsky upřesněné poměry pro zakládání a spodní stavbu
- Aproximace na základě několika spřažených mostů
 - Žiželice, Kladno, Místecká
 - Různé podmínky pro spodní stavbu a zakládání



Nástroj pro optimalizaci spřažených ocelobetonových silničních mostů

Analýza životního cyklu LCA

- Dopad stavby na životní prostředí ve všech fázích životnosti
- Potenciály emitovaných škodlivých látek
 - Potenciál globálního oteplování (GWP) – kg CO₂
 - Potenciál oslabení ozonové vrstvy (ODP) – kg R11
 - Potenciál tvorby fotochemického ozonu (POCP) – C₂H₄
 - Potenciál okyselení prostředí (AP) – SO₂
 - Potenciál eutrofizace (EP) – PO₄
 - Spotřeba energie z obnovitelných zdrojů (PEE)
 - Spotřeba energie z neobnovitelných zdrojů (PENE)
- Přímé dopady na životní prostředí
- Nepřímé dopady na životní prostředí



Analýza životního cyklu LCA – Přímé dopady

- Výstavba, údržba a odstranění konstrukce
- Zohlednění vedlejších dopadů pro jednotlivé materiály

	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PE _E	PE _{NE}
Ostatní použité komponenty	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Transport	1,03	1,03	1,07	1,07	1,03	1,03	1,03
Proces výstavby	1,05	1,03	1,25	1,1	1,03	1,13	1,13
Finální faktor	1,14	1,11	1,40	1,24	1,11	1,22	1,22

- Nepravidelná údržba či obměna jednotlivých částí most

Nepravidelná údržba	Životnost	Intervaly
Sanace betonové konstrukce	50	50
Výměna mostních ložisek	50	50
Protikorozní nátěry	35	35, 70
Rekonstrukce mostní římsy	25	25, 50, 75
Mostní zábradlí a svodidla	25	25, 50, 75
Vozovkové souvrství	25	25, 50, 75
Izolace mostovky	25	25, 50, 75
Výměna mostních závěrů	25	25, 50, 75
Mostní odvodnění	25	25, 50, 75

Analýza životního cyklu LCA – Nepřímé dopady

- Způsobené omezením dopravy v okolí mostu z důvodu stavebních či údržbových prací
- Stanovení omezení kapacity komunikace na mostě i pod mostem
- Stanovení zpoždění z důvodu zácpy
- Stanovení kilometrů na objížděce z důvodu dopravních uzavírek

Proces	Rok	Délka [dny]	Kapacita D1 [aut/hodinu]	Kapacita D2 [aut/hodinu]
Výstavba mostu	0	0	0	0
Římsa, zábradlí, svršek, závěry, odvodnění, izolace	25	40	3500	1750
Ložiska, římsa, zábradlí, svršek, závěry, odvodnění, izolace	50	80	3500	1750
Římsa, zábradlí, svršek, závěry, odvodnění, izolace	75	40	3500	1750

- Kvantifikace uhlíkové stopy z důvodu zácpy a objížděk pro osobní a nákladní dopravu

Analýza životních nákladů LCC

- Přímé náklady na výstavbu, údržbu a odstranění stavby
- Zohlednění kladných bilancí za prodej a recyklaci stavební suti
- Výpočet čisté současné hodnoty pomocí součinitele inflace a slev

$$NPV = CC + \sum_{t=1}^n \frac{CC * RM * (1 + i)^t}{(1 + d)^t} + \sum_{t=t_M}^n \frac{IM * (1 + i)^t}{(1 + d)^t} + \frac{DC * (1 + i)^t}{(1 + d)^t}$$

NPV = čistá současná hodnota [CZK]

CC = náklady na výstavbu [CZK]

DC = náklady na odstranění a demolici mostu [CZK]

RM = náklady na pravidelnou údržbu [%]

IM = náklady na nepravidelnou údržbu [CZK]

n = návrhová životnost - 100 let

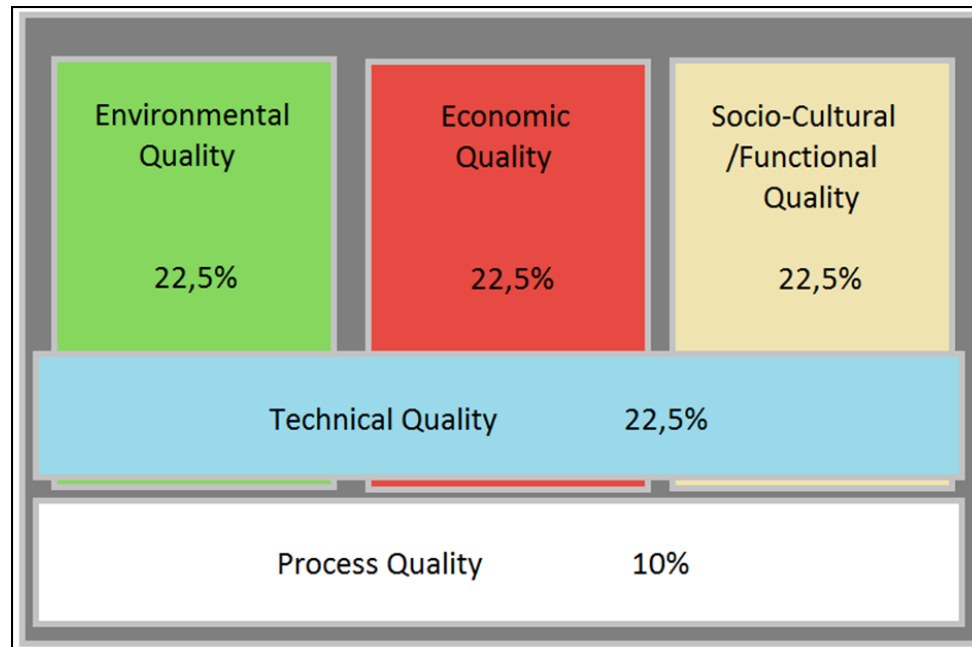
i = míra inflace [%]

d = míra slev [%]

t_M = rok údržby

Posudek udržitelnosti – Součinitel udržitelnosti

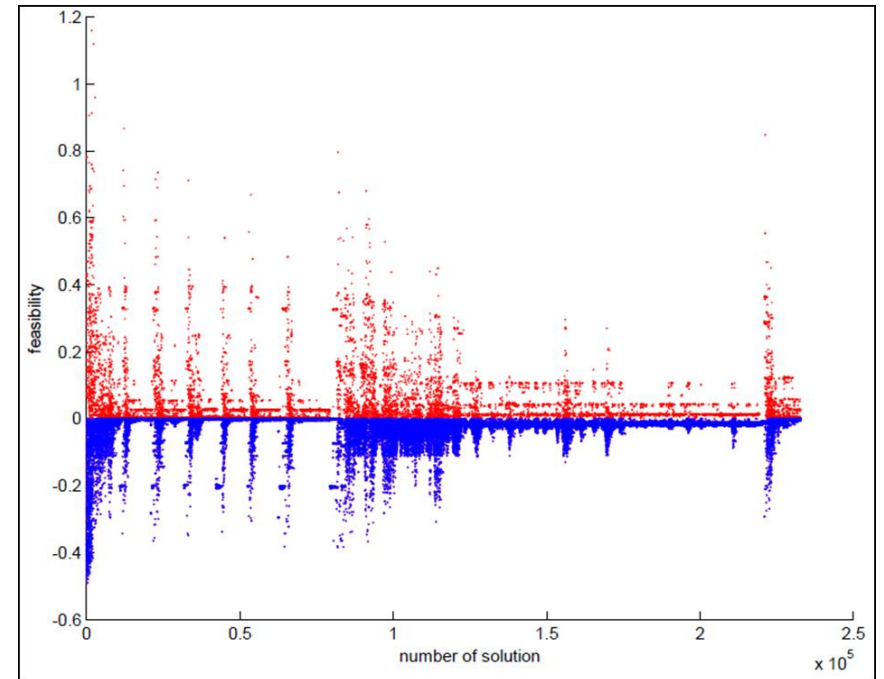
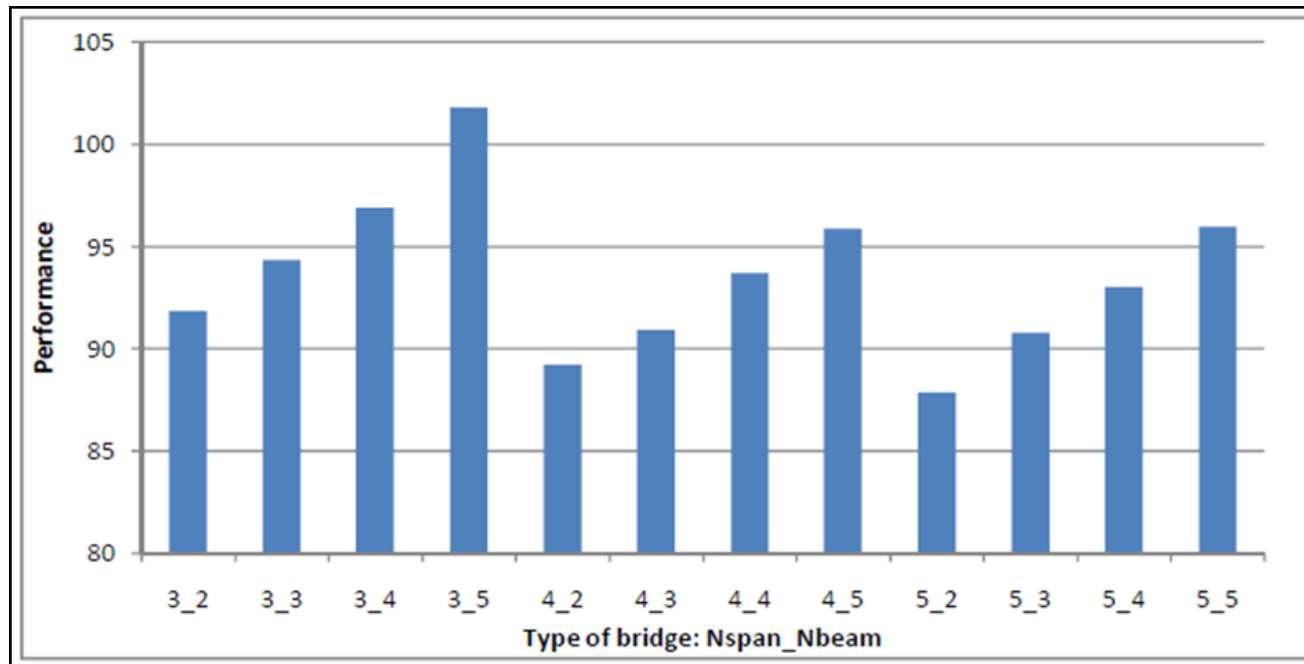
- Porovnání jednotlivých variant v rámci optimalizace
- Normalizace výsledků pomocí průměrné hodnoty – procentuální výhodnost řešení
- Vážení výsledků z jednotlivých kritérií LCA a LCC



Kritérium dopadu	Váhový faktor
Potenciál globálního oteplování (GWP)	10,3
Potenciál oslabení ozonové vrstvy (ODP)	3,4
Potenciál tvorby fotochemického ozonu (POCP)	3,4
Potenciál okyselení prostředí (AP)	3,4
Potenciál eutrofizace (EP)	3,4
Primární energie z obnovitelných zdrojů (PEE)	10,3
Primární energie z neobnovitelných zdrojů (PENE)	3,4
Nepřímé dopady na životní prostředí LCA	10,3
Přímé náklady	31,0
Nepřímé náklady LCC	20,7

Optimalizace

- Využití evolučních optimalizačních metod
- Stanovení okrajových podmínek optimalizace
- Optimalizace průřezových charakteristik ocelového průřezu



Závěr

- Využití pro návrh optimální konstrukce již v prvotních fázích projektu
- Samostatný software pro Windows
- Tabulkový vstup a výstup přes MS Excel
- Optimalizace průřezových charakteristik mostu v podélném směru
- Software společně s manuálem je možné stáhnout na:
 - <http://www.cesti.cz>

Děkuji za pozornost
