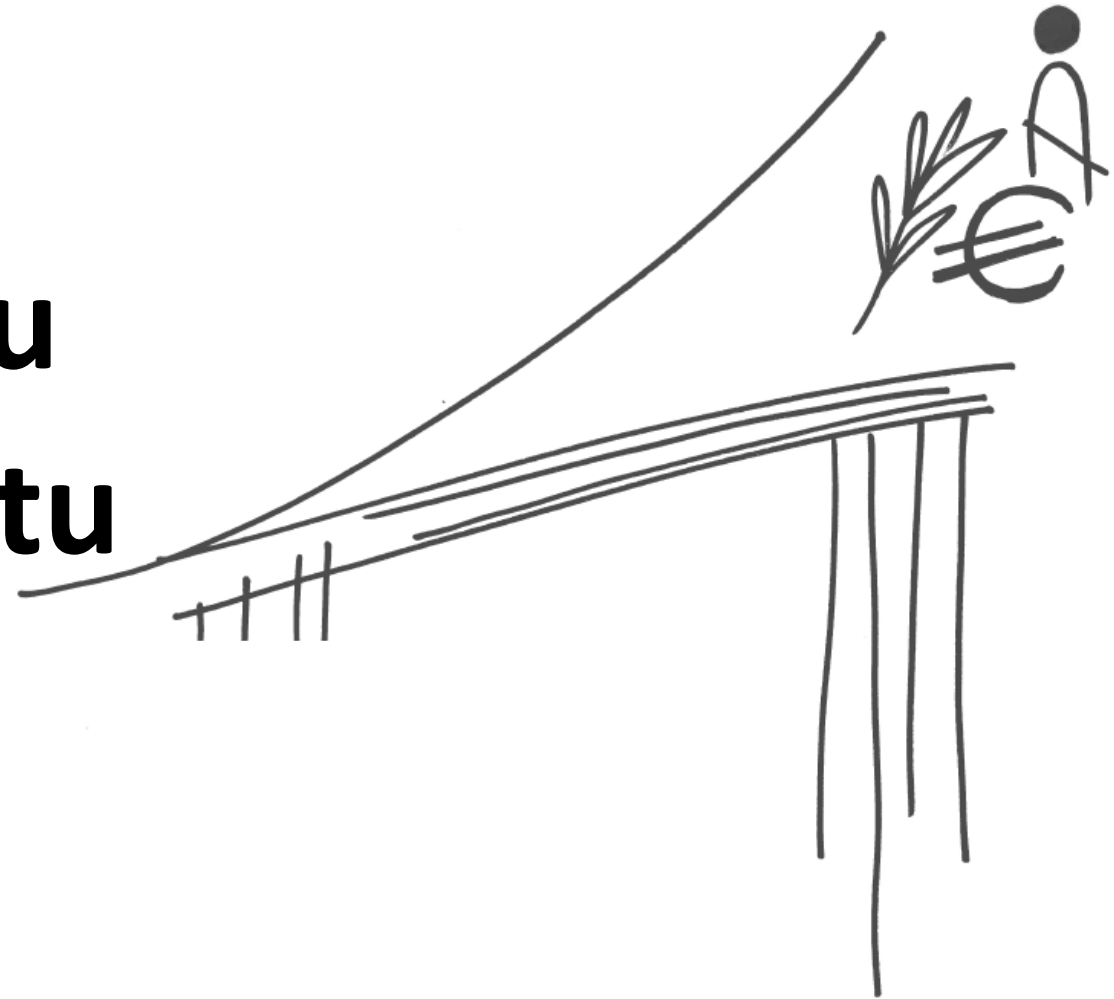


# Analýza životního cyklu ocelobetonového mostu a jeho náklady



## Motivace

### Současný stav:

- Trhu dominují betonové mosty
- Ocelové a spřažené mosty jsou alternativou v případě **dalších kritérií** jako estetika, doba výstavby, celková konstrukční výška.
- Výběr typu mostu se dnes řídí **minimálními náklady na výstavbu**



Výzvy: Stoupající objem dopravy a hmotnost vozidel → nutnost přizpůsobení  
Stavby s vysokou životností → životnost > 100 let

 **Posuzování nákladů životního cyklu mostů**

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů



VÝROBA  
ZÁKLADNÍHO  
MATERIÁLU  
VÝSTAVBA

## Posuzování životního cyklu mostů

Degradační procesy  
únava / koroze / karbonatace



DEMOLICE



ŽIVOTNÍ CYKLUS MOSTU

KONEC  
ŽIVOTNOSTI



inspekce / údržba / oprava / rekonstrukce

➡ **Optimalizace** nákladů **životního cyklu** na základě holistického přístupu

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## Metodika – Holistický přístup

Dopad do  
životního  
prostředí



Lifecycle  
Assessment  
(LCA)

Ekonomická  
kvalita



Lifecycle Costs  
(LCC)

Sociální a  
funkční kvalita



Lifecycle Social  
Analysis

**Náklady životního cyklu**

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## Life cycle cost - LCC

### KONCEPT

Stanovení celkových nákladů vyplývajících z užívání konstrukce v rámci celého životního cyklu - náklady "cradle to grave,,

### UVAŽOVANÉ KROKY

Návrh a výroba

Provozování, údržba, opravy

Výměna mostu

likvidace

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## Hlavní cíle LCC

- LCC lze aplikovat pro porovnání:
  - Alternativních **návrhů**
  - Alternativních prohlídkových/údržbových **strategií** v průběhu života mostu
  - **Optimální vynaložení** finančních prostředků
  - **Dlohodobé** finanční plánování
  - **ISO 15686 – 5 - LIFE CYCLE COSTING**



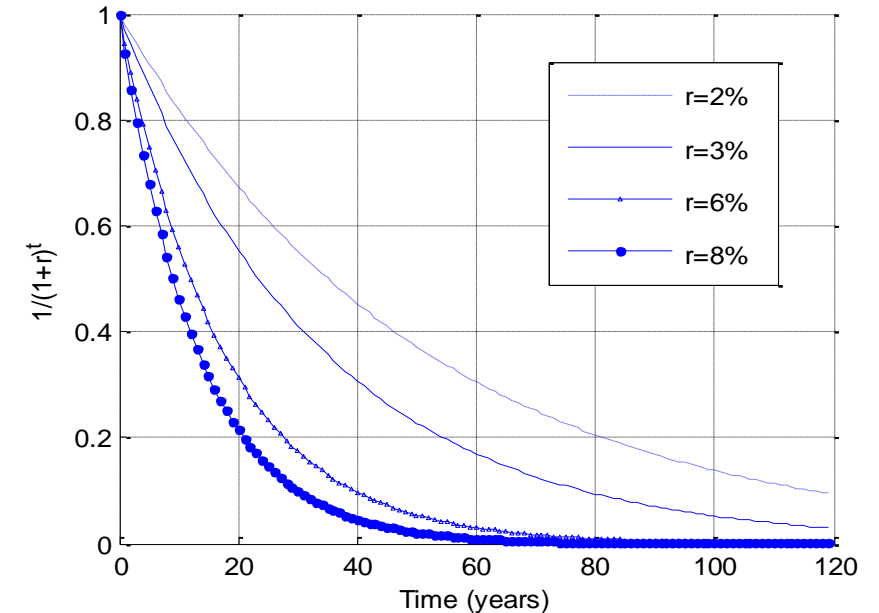
## Stanovení LCC

$$LCC = C_{ini} + \sum_{k=0}^N \text{Future cost} \times \left( \frac{1}{(1+r)^{t_k}} \right) - S$$

S=Zbytková hodnota na konci  
životnosti

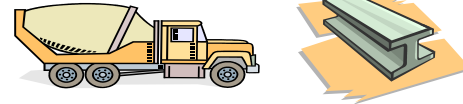
Roční diskontní sazba

- Life-cycle costs se uvažují v různých dobách životnosti
- Aplikace diskontní sazby pro sjednocení nákladů na současnou hodnotu peněz
- It generally depends on the investing strategy of each country (i.e., the financial risk associated with spending money).



Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## Fáze výroby materiálu



OCEL  
Nákup oceli  
Svařování, dělení  
Výroba OK, sestavení  
Přejímka, doprava



## Fáze výstavby



Doprava výrobních prostředků



Použití výrobních prostředků



Výstavba mostu



Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## Fáze provozování



Doprava vybavení

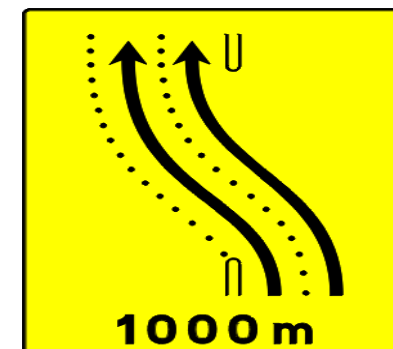


Údržbové práce

Opravy, rekonstrukce

Dopravní  
omezení

- Obnova PKO
- Betonáže, bednění, lešení
- Omezení provozu
  - Časové zpoždění
  - Spotřeba paliva
  - Nepohodlí řidičů
- Náklady na provozování vozidel
- Dopravní nehody



## Fáze konce života



Demolice mostu



Použití vybavení a  
strojů

Doprava na skládku



Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

---

## LCA:

### SUSTAINABLE – Udržitelný rozvoj

“Udržitelný rozvoj naplňuje požadavky dneška bez omezení možností budoucích generací naplnit jejich potřeby”

*In Bruntland report*

### SUSTAINABLE – Udržitelná stavba

Udržitelná stavba vychází z principů udržitelného rozvoje a zohledňuje globální cyklus výstavby od získání základních materiálů, přes návrh, výstavbu, provozování k demolici a uložení odpadu

*Christina du Plessis – Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*

## Hlavní cíle LCA:

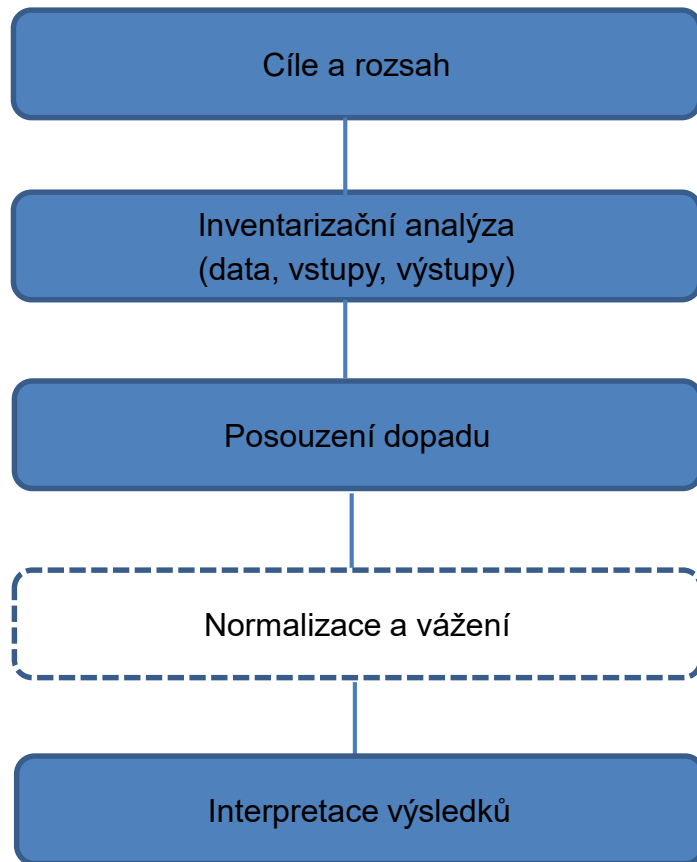
Minimalizovat enviromentální dopady mostu přes celý životní cyklus, od výstavby po demolici

Lifecycle Environmental Analysis – podle principů a metdo v ISO 14040:2006 a ISO 14044:2006



Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## LCA hodnocení:

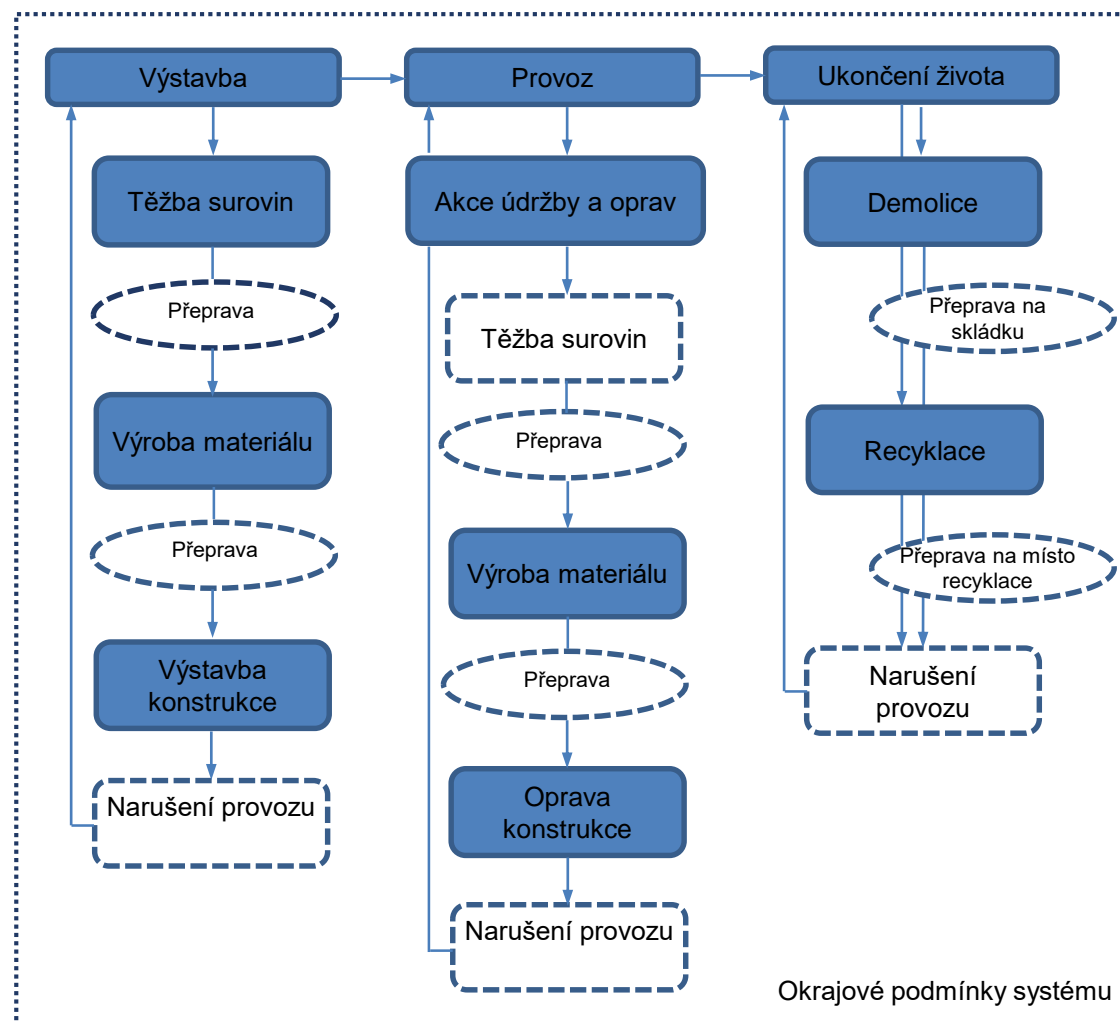


## LCA hodnocení:

Indikátory		Jednotka	Časové období
<p><b>Potenciál globálního oteplování</b></p> <p>Vliv emisí způsobených lidskou činností na radiační působení atmosféry. Poměr časově integrovaného radiačního působení k okamžitému uvolnění 1 kg stopové látky ku 1 kg referenčního plynu (CO<sub>2</sub>).</p>	GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	100 let
<p><b>Potenciál acidifikace prostředí</b></p> <p>Je vyjádřen jako ekvivalent kilogramu SO<sub>2</sub>.</p>	AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	∞
<p><b>Potenciál eutrofizace prostředí</b></p> <p>Souhrn potenciálního příspěvku emisí dusíku (N), fosforu (P) a uhlíku (C) na tvorbu biomasy.</p>	EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	∞
<p><b>Potenciál tvorby přízemního ozonu</b></p> <p>Dán poměrem mezi změnou koncentrace ozonu v důsledku změny emisí těkavých organických sloučenin (VOC) a změnou koncentrace ozonu v důsledku změny emisí etylenu (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).</p>	POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-
<p><b>Potenciál porušení ozonové vrstvy</b></p> <p>Vlastnosti plynu, které jsou srovnávány s trichlorfluormetanem CFC-11. Celkové množství uvolněných plynů, které poškozují ozonovou vrstvu.</p>	ODP	Kg CFC eq.	∞
<p><b>Potenciál porušení abiotické složky prostředí</b></p> <p>Environmentální problém související s klesající dostupností přírodních zdrojů a konečností jejich rezerv.</p>	ADP	Kg Sb eq.	-

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

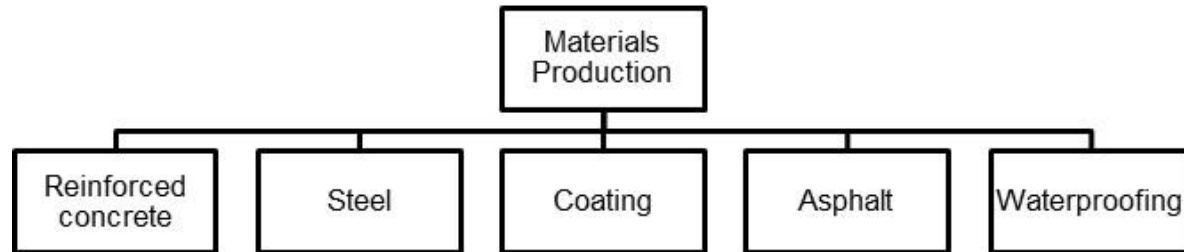
## Okrajové podmínky LCA hodnocení:



Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů



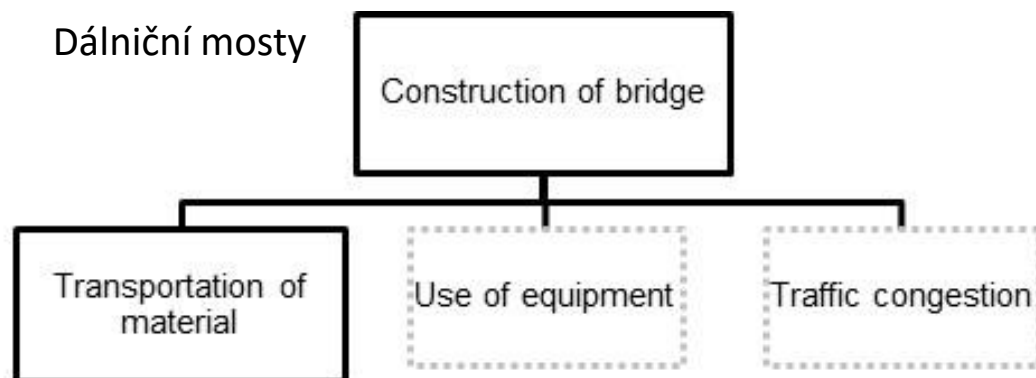
## Fáze výroby materiálu :



Zdroje: GaBi / World Steel organization

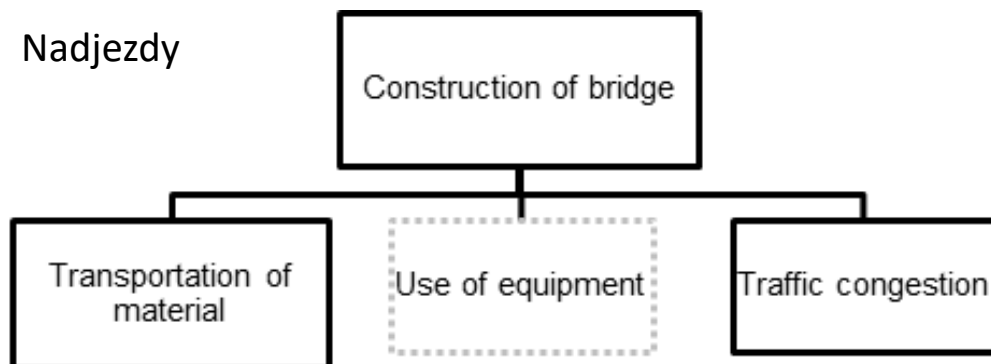
## Fáze výstavby:

Dálniční mosty



Aktivita	Vzdálenost (km)
Přeprava ocelových konstrukcí	50
Přeprava ocelové výztuže	50
Přeprava čerstvého betonu	10
Přeprava prefabrikovaného betonu	10
Přeprava asfaltu	20
Přeprava hydroizolační vrstvy	20

Nadjezdy



Ovlivnění dopravy pod nadjezdem po dobu výstavby

---

## Fáze provozování:

### Doprava na mostě

Pro výpočet spotřeby paliva a emisí pro různé aktivity, jsou uváženy dva scénáře – jde o nutnost uzavření jízdního pruhu:

- Práce přes den ( 6:00 AM do 10:00 PM)
- Práce přes noc (10:00 PM do 6:00 AM).

Omezení definována pro různé práce oprav, údržby a pro mosty a nadjezdy samostatně, viz dále:

Damage	Maintenance Actions	Traffic Restrictions	
		Over the bridge	Under the bridge
<b>Steels</b>			
Steel girder - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion (small points / small areas)	partial surface corrosion protection	No restrictions	-
Corrosion (complete renewal)	complete renewal corrosion protection	No restrictions	-
<b>Concrete</b>			
concrete slab - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion of the reinforcement deck plate	partial renewal	1 lane closed per day	-
Concrete edge beam	total surface treatment	Speed reduction	-
Concrete edge beam	partial renewal of surface treatment	Speed reduction	-
Concrete edge beam	total replacement	Speed reduction	-
Concrete edge beam repairs	partial renewal	Speed reduction	-
<b>Expansion joints</b>			
broken modules (considering a modular joint)	total replacement	1 lane closed per day	-
broken concrete header (repair)	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
tightening of bolts / partial module replacement	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
Cleaning		1 lane closed per day	-
<b>Bearings</b>			
Elastomeric bearing - used up	total replacement	Speed reduction	-
Elastomeric bearing (repair)	partial replacement	Speed reduction	-
Calotte bearing - used up	total replacement	Speed reduction	-
Calotte bearing - maintenance	total/partial replacement	Speed reduction	-
Corrosion of metallic elements (Sa2/St3)	painting of metallic elements	Speed reduction	-
<b>Road surface</b>			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	-
cracks, ruts, excavation	total survival road surface layer *	1 lane closed per day	-
cracks, ruts, excavation	minor repairs	1 lane closed per day	-
<b>Water proofing layer</b>			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	-
<b>Railings</b>			
used up	total replacement of railings	No restrictions / speed reduction	-
painting	painting of metallic elements	No restrictions / speed reduction	-
damage caused by corrosion	partial replacement	No restrictions / speed reduction	-
<b>Gutters</b>			
replacement dewatering	total replacement	No restrictions / speed reduction	-
<b>Safety barrier</b>			
used up	total replacement of safety barrier	1 lane closed per day	-
safety barriers - minor repairs due to corrosion	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
damage caused by accident (steel)	partial replacement	1 lane closed per day	-

\* s course layer of asphalt containing a large amount of bitumen that is placed on top of the existing damaged surface layer (and waterproofing layer)

Damage	Maintenance Actions	Traffic Restrictions	
		Over the bridge	Under the bridge
<b>Steels</b>			
Steel girder - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion (small points / small areas)	partial surface corrosion protection	No restrictions	No restrictions
Corrosion (complete renewal)	complete renewal corrosion protection	No restrictions	1 lane closed per day
<b>Concrete</b>			
concrete slab - used up	demolition / replacement	Road Closed	1 lane closed per day
Corrosion of the reinforcement deck plate	partial renewal	1 lane closed per day	1 lane closed per day
Concrete edge beam	total surface treatment	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam	partial renewal of surface treatment	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam	total replacement	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam repairs	partial renewal	Speed reduction	1 lane closed per day
<b>Expansion joints</b>			
broken modules (considering a modular joint)	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
broken concrete header (repair)	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
tightening of bolts / partial module replacement	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
Cleaning		1 lane closed per day	No restrictions
<b>Bearings</b>			
Elastomeric bearing - used up	total replacement	Speed reduction	No restrictions
Elastomeric bearing (repair)	partial replacement	Speed reduction	No restrictions
Calotte bearing - used up	total replacement	Speed reduction	No restrictions
Calotte bearing - maintenance	total/partial replacement	Speed reduction	No restrictions
Corrosion of metallic elements (Sa2/St3)	painting of metallic elements	Speed reduction	No restrictions
<b>Road surface</b>			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
cracks, ruts, excavation	total survival road surface layer *	1 lane closed per day	No restrictions
cracks, ruts, excavation	minor repairs	1 lane closed per day	No restrictions
<b>Water proofing layer</b>			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
<b>Railings</b>			
used up	total replacement of railings	No restrictions / speed reduction	No restrictions
painting	painting of metallic elements	No restrictions / speed reduction	No restrictions
damage caused by corrosion	partial replacement	No restrictions / speed reduction	No restrictions
<b>Gutters</b>			
replacement dewatering	total replacement	No restrictions / speed reduction	No restrictions
<b>Safety barrier</b>			
used up	total replacement of safety barrier	1 lane closed per day	No restrictions
safety barriers - minor repairs due to corrosion	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
damage caused by accident (steel)	partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions

živ

\* s course layer of asphalt containing a large amount of bitumen that is placed on top of the existing damaged surface layer (and waterproofing layer)

## Fáze konce života:

Po demolici mostu je materiál roztříděn a následně odvezen na místo konečného určení.

U oceli se uvažuje její znovupoužití. U betonu a asfaltů, či dalšího odpadu, se uvažuje uložení na skládku.

U nadjezdů se uvažuje s vlivem dopravního omezení na dálnici při bourání.

Aktivita	Vzdálenost (km)
Recyklace oceli	50
Recyklace ocelové výztuže	50
Skládka inertních materiálů	50
Skládka asfaltu a bitumenu	20

## LIFECYCLE SOCIAL ANALYSIS (LCS):

Sociální kritéria umožňují vyčíslit dopady mostní konstrukce na její přímé uživatele a obyvatele žijícím v jejím okolí. Uživatelé mostu jsou všichni lidé cestující po mostě i pod ním.



---

## LIFECYCLE SOCIAL ANALYSIS (LCS):

- Náklady na zpoždění vyplývající z nárůstu doby jízdy v pracovní zóně v důsledku snížení rychlosti, a zpoždění nebo nárůstu délky trasy v důsledku objížďky.
- Provozní náklady vozidla v důsledku snížení úrovně dopravní obslužnosti způsobené údržbou dálnic. Přerušení běžné dopravy způsobuje snížení rychlosti, zvýšení spotřeby paliva a oleje, zvýšení opotřebení pneumatik a nutnost zvýšené údržby vozidla.
- Přerušení provozu vyvolané pracemi na silnici má negativní dopad na bezpečnost silničního provozu a následně zvyšuje nehodovost.

## SBRI – scénáře údržby a inspekce

### Standardní strategie inspekcí pro mosty v celé Evropě

- Získání informací ohledně inspekčních scénářů (způsoby, četnost, cíle a náklady)
- Nalezení scénáře údržby typického pro většinu zemí v Evropě
- Definování standardní inspekční strategie

Portugal (BRISA)			Germany (BAST)		Denmark (RAMBOLL)			France (SETRA)	
Inspection Type	Frequency (years)		Inspection Type	Frequency (years)	Inspection Type	Frequency (years)		Inspection Type	Frequency (years)
	Case B0	Case A0, C0		Case A0,B0,C0		Case A0,B0	Case C0		Case A0,B0,C0
routine	annually	annually	monitoring	twice a year	routine	week / year	week / year	permanent watch	daily
first principal (a)	once	once	viewing	annually	principal	3 to 6	3 to 6	annual	annually
principal	4	6	main	6	special	when needed	when needed	periodic special	3, 6, 9
special	when needed	when needed	simple (b)	6	underwater	5 to 10	5 to 10	periodic detailed	6
underwater	when needed	6	extra	when needed				initial detailed (c)	once
			underwater	6				end of warranty special (c)	once
								exceptional detailed	when needed

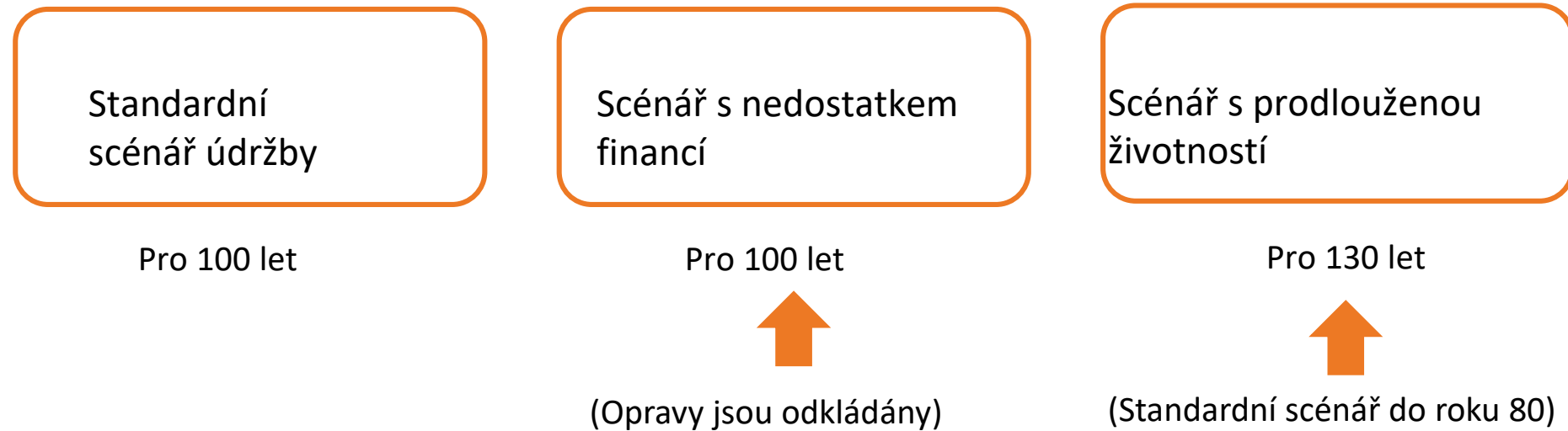


Type of Inspection	Frequency [years]
Routine	annually
Main, principal or periodic special	6
Special or exceptional	twice during lifecycle

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů



## Inspekční a údržbové strategie



## SBRI – scénáře údržby a inspekce

### Standardní scénáře pro 100 let

Definice průměrné životnosti

Prvek	Průměrná životnost (roky)
Betonová konstrukce	100
Betonová římsa	40
Svodidla	40
Ocelová konstrukce	100
Protikorozní ochrana oceli	35
Dilatační závěry	40
Vozovkové souvrství	20
Hydroizolace	40
Klempířské prvky	25
Elastomerová ložiska	35
Zábradlí	40

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

## SBRI – scénáře údržby a inspekce

### Standardní scénáře pro 100 let

Četnost údržbových zásahů

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	25
Betonová římsa	Malé opravy	25
Svodidla	Částečná výměna	25
Protikorozní ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	20
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

## SBRI – scénáře údržby a inspekce

### Dodatečné scénáře

- **Nedostatek financí** → Inspekce v počáteční fázi méně častá, častější ke konci životního cyklu  
→ Odkládání zásahů

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	50
Betonová římsa	Malé opravy	50
Svodidla	Částečná výměna	20
Protikorozní ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	20
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

## SBRI – scénáře údržby a inspekce

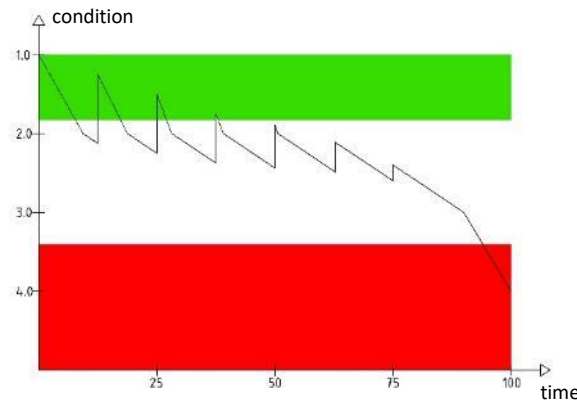
### Dodatečné scénáře

- **Prodloužení životnosti** → Až 130 let, standardní scénář až do roku 80, pak rozhodovací proces o prodloužení životnosti  
→ Dodatečné prohlídky a údržba až do konce

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	25
Betonová římsa	Malé opravy	40
Svodidla	Částečná výměna	20
Protikorozi ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	25
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

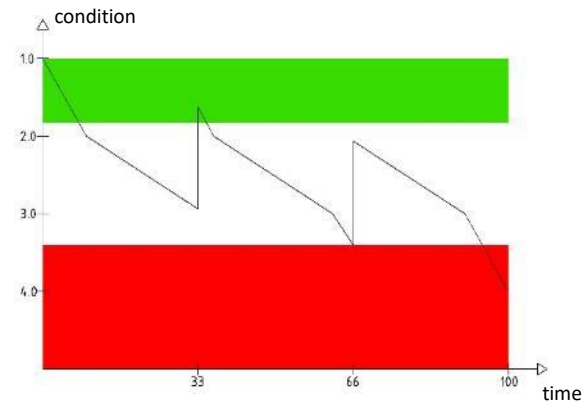
## Scénáře údržby a inspekce

### Preventivní strategie



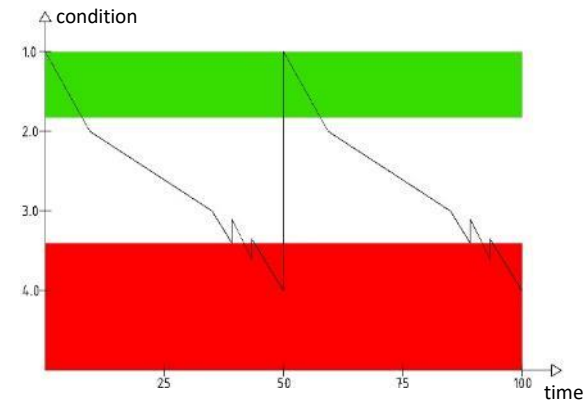
- Údržba detailů a mostu v dobrém stavu
  - Okamžité zásahy a obnova
- **Mnoho zásahů**

### Standarní scénář – Strategie závisí na stavu mostu



- Kombinace různých údržbových zásahů
  - Odkládání opravných zásahů
- **Minimalizace zásahů**

### Nedostatek financí – přípustná degradace



- Provádění pouze urgentních zásahů
  - Degradace v detailech mostu
- **Akceptuje se špatný stav mostu**



**Porovnání v době provozování mostu**

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

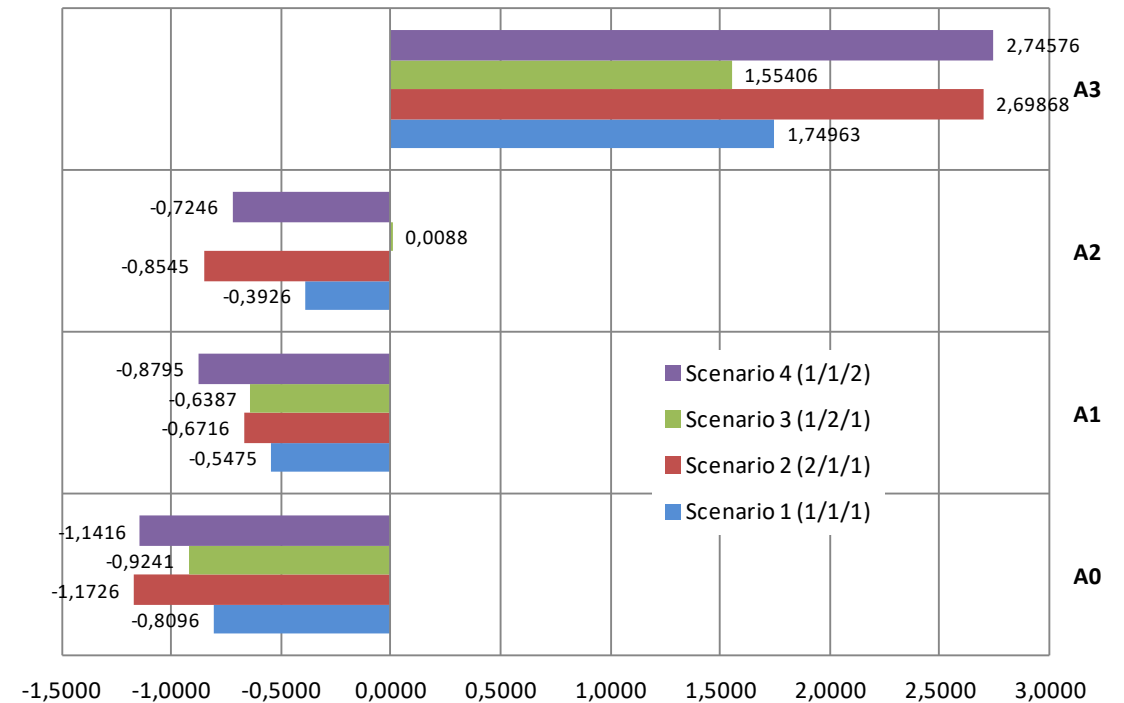
## SBRI - Case Study A - Holistický přístup – Multikriteriální přístup

### Preference Ranking Organization Methodology of Enrichment Evaluation (PROMETHEE)

Vážení environmentálního vlivu : ekonomického vlivu : nákladů uživatele

Scénář 4	1:1:2
Scénář 3	1:2:1
Scénář 2	2:1:1
Scénář 1	1:1:1

Vysoké hodnoty = vyšší hodnocení = lepší výsledek



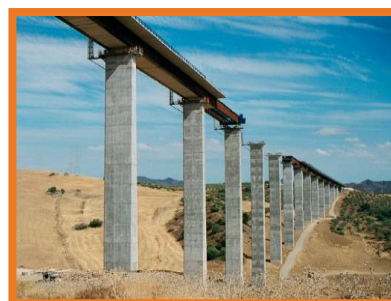
Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

---

SBRI +

Posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů

# Děkuji za pozornost



---

Holistický přístup pro posuzování životního cyklu ocelobetonových mostů