



**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**

Ing. Lukáš Dlouhý, Nemetschek SCIA CZ, s.r.o. Brno

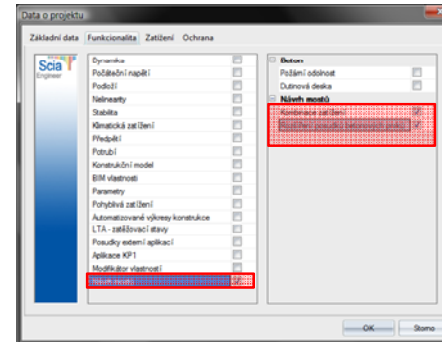
Konference STATIKA 2013  
Hotel SKI, Nové Město na Moravě; 16. - 17. května 2013



**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**

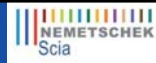
Obsah prezentace

- **Obsah**
  - **Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2**
  - **Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2**
  - **Nastavení projektu**



## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

Obsah prezentace



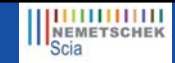
### Kombinace zatížení pro mostní konstrukce podle EN1990/A1 přílohy A2



2

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



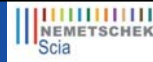
### ▪ Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2

- Obecná funkcionální nezávislá na materiálu
- Kombinátor zatěžovacích stavů, NE generátor zatížení
- Silniční most, lávky pro pěší, železniční mosty
- Součinitele kombinace ( $\psi$ ) a zatížení ( $\gamma$ )
- Hlavní a vedlejší zatížení
- Speciální pravidla co s čím lze kombinovat



3

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Nastavení národních parametrů
  - Rozdělení – **budova** / **most**
    - nastavení kombinací**, **kombinační součinitele**, **součinitele zatížení**
    - silniční most, lávka pro pěší, železniční most

4

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Součinitele kombinace
  - Silniční mosty - tab A2.1



|    | Zatížení                            | Psi0 | Psi1 | Psi2 |
|----|-------------------------------------|------|------|------|
| 1  | Doprava - gr 1a - TS                | 0.75 | 0.75 | 0    |
| 2  | Doprava - gr 1a - UDL               | 0.4  | 0.4  | 0    |
| 3  | Doprava - gr 1a - chodní + pruh ... | 0.4  | 0.4  | 0    |
| 4  | Doprava - gr 1a - jednokolejová     | 0    | 0.75 | 0    |
| 5  | Doprava - gr 2 - vodorovné síly     | 0    | 0    | 0    |
| 6  | Doprava - gr 3 - zatížení od cho... | 0    | 0.4  | 0    |
| 7  | Doprava - gr 4 - zatížení od davu   | 0    | 0    | 0    |
| 8  | Doprava - gr 5 - speciální vozidla  | 0    | 0    | 0    |
| 9  | Zatížení větrem - FWk - stávk...    | 0.6  | 0.2  | 0    |
| 10 | Zatížení větrem - FWk - prvk...     | 0.8  | 0    | 0    |
| 11 | Zatížení větrem - FWk - stávk...    | 1    | 0    | 0    |
| 12 | Teplotní zatížení - Tk              | 0.6  | 0.6  | 0.6  |
| 13 | Zatížení sněhem - QSn.k - pro...    | 0.8  | 0    | 0    |
| 14 | Zatížení od výstavby - Qc           | 1    | 0    | 1    |

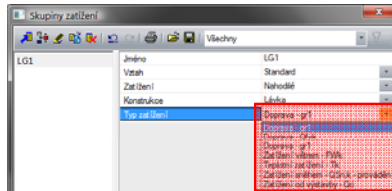
5

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Součinitele kombinace
- Lávky pro pěší – tab. A2.2



| Zatížení                          | Pa0 | Pa1 | Pa2 |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| 1 Doprava - gr1                   | 0,4 | 0,4 | 0   |
| 2 Doprava - Grvk                  | 0   | 0   | 0   |
| 3 Doprava - gr1                   | 0   | 0   | 0   |
| 4 Zatížení větrem - FWk           | 0,3 | 0,2 | 0   |
| 5 Tepelné zatížení - Tk           | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| 6 Zatížení sněhem - QSnk - pro... | 0,8 | 0   | 0   |
| 7 Zatížení od výstavby - Gc       | 1   | 0   | 1   |

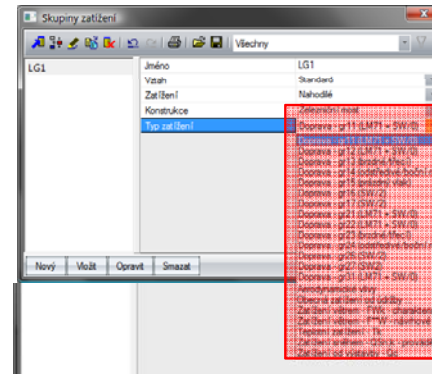
6

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Součinitele kombinace
- Železniční mosty – tab. A2.3
- Pouze sestavy zatížení – ne jednotlivé složky

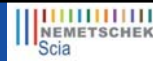


| Zatížení                            | Pa0  | Pa1 | Pa2 |
|-------------------------------------|------|-----|-----|
| 1 Doprava - gr11 (LM71 + SW/0)      | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 2 Doprava - gr12 (LM71 + SW/0)      | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 3 Doprava - gr13 (LM71 + SW/0)      | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 4 Doprava - gr14 (podřadný vlak)    | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 5 Doprava - gr15 (podřadný vlak)    | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 6 Doprava - gr16 (SW/2)             | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 7 Doprava - gr17 (SW/2)             | 0,8  | 0,8 | 0   |
| 8 Doprava - gr21 (LM71 + SW/0)      | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 9 Doprava - gr22 (LM71 + SW/0)      | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 10 Doprava - gr23 (podřadný vlak)   | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 11 Doprava - gr24 (podřadný vlak)   | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 12 Doprava - gr26 (SW/2)            | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 13 Doprava - gr27 (SW/2)            | 0,8  | 0,7 | 0   |
| 14 Doprava - gr31 (LM71 + SW/0)     | 0,8  | 0,6 | 0   |
| 15 Aerodynamické vívy               | 0,8  | 0,5 | 0   |
| 16 Obecné zatížení od údržby        | 0,8  | 0,5 | 0   |
| 17 Zatížení větrem - FWk - chara... | 0,75 | 0,5 | 0   |
| 18 Zatížení větrem - F'W - návrh... | 1    | 0   | 0   |
| 19 Tepelné zatížení - Tk            | 0,6  | 0,6 | 0,5 |
| 20 Zatížení sněhem - QSnk - pro...  | 0,8  | 0   | 0   |
| 21 Zatížení od výstavby - Gc        | 1    | 0   | 1   |

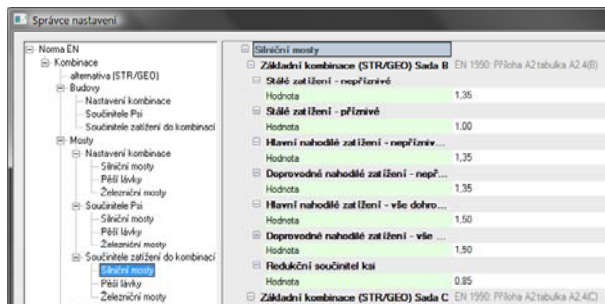
7

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- **Součinitele zatížení ( $\gamma$ )** – silniční mosty, lávky, železniční mosty
  - Hlavní zatížení – doprava (1,35), ostatní (1,5), u železničních dle typu vlaku
  - Vedlejší zatížení – doprava (1,5), ostatní (1,5)



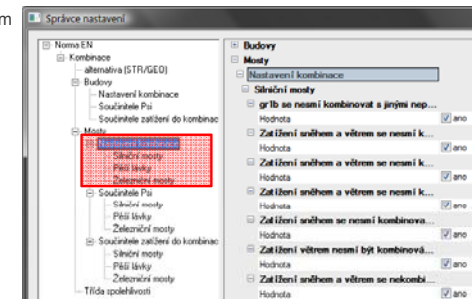
8

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2




- **Nastavení kombinací** – příklad pro silniční most A2.2.2
  - Nekombinovat gr1b s ostatním nahodilým zatížením
  - Nekombinovat gr2 se sněhem nebo větrem
  - Nekombinovat gr3 se sněhem nebo větrem
  - Nekombinovat gr4 se sněhem nebo větrem
  - Nekombinovat gr1a, gr1b se sněhem
  - Nekombinovat sníh a teplotu
  - Nekombinovat montážní zatížení se sněhem nebo větrem



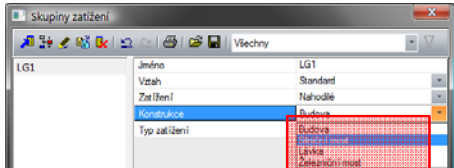
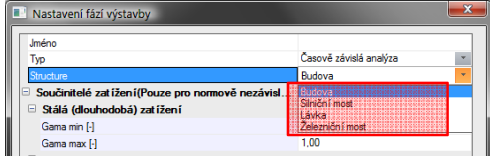
9



### Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Nové nastavení - **typ konstrukce**
  - budova / silniční most, lávka pro pěší, železniční most
  - skupiny zatížení
  - nastavení fází výstavby (2013)





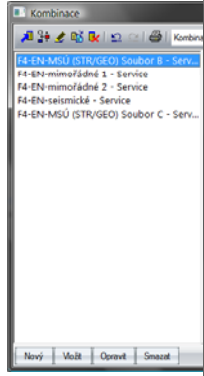
10

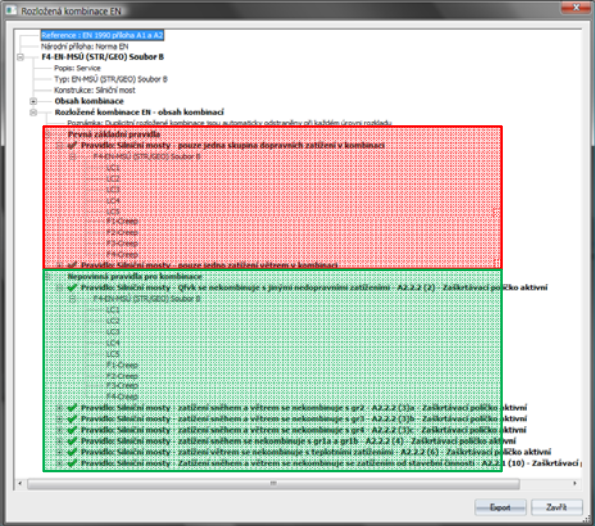
### Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Rozložené EN kombinace
  - Detailní rozpis jednotlivých kombinací

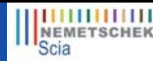




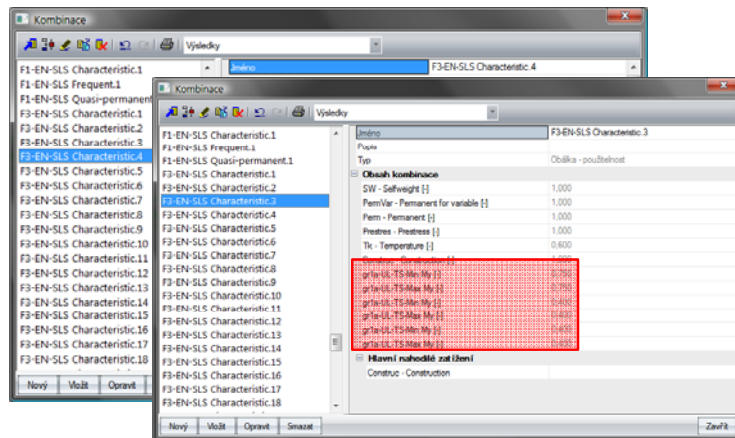
11

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Generování kombinací – příklad silniční most gr1a



12

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Kombinace zatížení podle EN1990/A1 přílohy A2



- Shrnutí – Doporučený postup
  - Aktivovat funkcionalitu v projektových datech
  - Zkontrolovat nastavení v národních přílohách – součinitele zatížení a kombinace
  - Vybrat typ konstrukce – budova / most (silniční, lávka, železniční)
  - Vytvořit skupiny zatížení
  - Přiřadit zatěžovací stavy příslušným skupinám zatížení
  - Vytvořit ručně nebo vygenerovat (fáze výstavby) normové kombinace
  - Ověřit vytvořené kombinace pomocí Rozložených normových kombinací

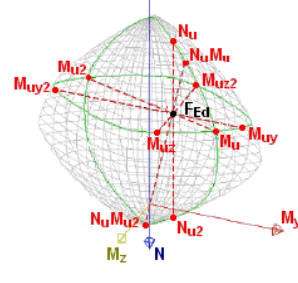
13



**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**  
 Obsah prezentace



**Rozšíření posudků betonových prvků pro  
 mostní konstrukce podle EN1992-2**



14

**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**  
 Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2



- Jak posoudit konstrukci podle EN 1992-2?
  - Funkcionalita - Rozšíření betonových posudků
  - Materiál beton (EN1992-2)

**Data o projektu**

Základní data    Funkcionalita    Zatížení    Ochrana

**Scia** Dynamika           

Počáteční napětí   

Podklad   

Neživotnost   

Návrh mostů   

Stabilita   

Vlastní zatížení   

Přetváření   

Podklad   

Konstrukční model   

EMU vstavae   

Parametry   

Pohybivé zatížení   

Automatizované výkresy konstrukce   

LTA - zatěžovací stavy   

Převážky editací aplikací   

Aplikace SP1   

Multiblaž výpočty   

**Návrh mostů - Betonové prvky - EN1992-2**

**Skupina prvků - Beton**

**Materialy**

Cemenná složka: portlandské těsto    **Skupina**

C30/37    Můkka E (MPa)    2.1000-03A

C25/30    Procento souhrnně    0,2

C30/37    Procento můkky E    0,3

C30/37    Můkka G (MPa)    1.1917-03A

C30/37    Log. sklonement    0,2

E300    **Skupina**

E300    Měrná hmotnost [kg/m³]    2400

E300    Teplotní roztažnost měrného těsta    Skupina

E300    Teplotní vstavae [10^-6/m]    4.5000-01

E300    Teplotní sklonement teplotní vstavae    Skupina

E300    Puhlost v mrazu    7

**EN 1992-2**

Charakteristická návrhová pevnost v tlaku f<sub>td</sub>    16,00

Vypočtená návrhová hodnota    5,0

Proměnná pevnost v tlaku f<sub>td,red</sub> (B/Fa)    24,00

f<sub>td,red</sub> - f<sub>td,red</sub> (B/Fa)    6,00

Měrná pevnost v tlaku f<sub>td,red</sub> (B/Fa)    1,36

kob G (B/Fa) (B/Fa)    1,30

Kob G (B/Fa) (B/Fa)    1,36

Vypočtená pevnost v tlaku - hrubá hodnota    10,87

Vypočtená pevnost v tlaku - modifikovaná f<sub>td</sub>    13,33

Proměnná přetváření při třechlenní nastavení    10,2

Máximo poměrné přetváření f<sub>td,red</sub> [‰]    12,5

Proměnná přetváření při třechlenní nastavení    12,5

Máximo poměrné přetváření f<sub>td,red</sub> [‰]    12,5


Proměnná hustota [kg/m³]    24

15




## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2



- **Požadavky na materiál:**
  - Doporučená pevnost – min. C30/37; max C70/85 – 3.1.2(102)
  - Doporučená výztuž – s tažností B a C – 3.2.4(101)
  - V případě použití jiných materiálů než výše uvedených program dává varování



**Návrh As EN 1992-1-1 and EN 1992-2**

Lineární výpočet, Extrém : Prvek  
 Vyběr : B3  
 Kombinace : CO1 **Návrh As EN 1992-1-1 and EN 1992-2**

**Navržená výztuž :** Lineární výpočet, Extrém : Prvek  
 Vyběr : B3  
 Kombinace : CO1

| Prvek | d <sub>s</sub> [m] | Stav  | N <sub>ed</sub> [kN] | M <sub>ed</sub> [kNm] | x <sub>v</sub> [mm] | d [mm] | A <sub>s,req</sub> [mm <sup>2</sup> ] | W/E |
|-------|--------------------|-------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------|---------------------------------------|-----|
| B3    | 0,000              | CO1/1 | 0,00                 | 0,00                  | 0                   | 0      | 0                                     | 920 |

**Navržená výztuž při horní povrchu pro vybrané pruty**

| Prvek | d <sub>s</sub> [m] | Stav  | N <sub>ed</sub> [kN] | M <sub>ed</sub> [kNm] | x <sub>v</sub> [mm] | d [mm] | A <sub>s,req</sub> [mm <sup>2</sup> ] | W/E |
|-------|--------------------|-------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------|---------------------------------------|-----|
| B3    | 0,000              | CO1/1 | 0,00                 | 0,00                  | 0                   | 0      | 0                                     | 920 |

**Navržená výztuž při spodní povrchu pro vybrané pruty**


| Prvek | d <sub>s</sub> [m] | Stav  | N <sub>ed</sub> [kN] | M <sub>ed</sub> [kNm] | x <sub>v</sub> [mm] | d [mm] | A <sub>s,req</sub> [mm <sup>2</sup> ] | A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ] | Výztuž[kg]           | W/E |
|-------|--------------------|-------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------|---------------------------------------|--|----------------------|-----|
| B3    | 0,000              | CO1/1 | 0,00                 | 0,00                  | 0                   | 0      | 0                                     | 1257                                   | 4d20,0(B 600A)(1257) | 920 |

**Vysvětlivky k var:**

1919 : Byla překročena


**Vysvětlivky k varování a k chybám**

1920 : Použitá nepřepínací výztuž není povolena kvůli nízké tažnosti




## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2

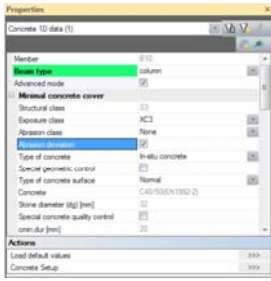



- **Analýza mostních pilířů**
  - Zvýšení krytí (o 10mm) pro pilíře vystavené abrazivnímu působení ledu nebo plovoucích částí ve vodě – 4.4.1.2(115)
  - Výpočet geometrických imperfekcí – 5.2(105)
  - Minimální průměr příčné výztuže – 9.5.3(101)




| EN1992-1-1  | EN1992-2                             |
|---|--------------------------------------|
| $\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m$ | $\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_n$ |
| $2/3 \leq \alpha_n \leq 1$                          | $\alpha_n \leq 1$                    |

| NA            | Value                          |
|---------------|--------------------------------|
| Standard NA   | max(6mm; 0,25*d <sub>s</sub> ) |
| Czech CSN NA  | max(8mm; 0,25*d <sub>s</sub> ) |
| Slovak STN NA | max(8mm; 0,25*d <sub>s</sub> ) |







### Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

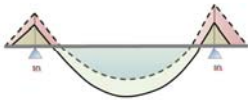
#### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2

- **Redistribuce ohybových momentů**
  - Lineární analýza s omezenou redistribucí - odlišné součinitele ( $k_1$ - $k_5$ ) – 5.5(104)
  - Plastická analýza - omezení poměru tlačené oblasti / efektivní výšce – 5.6.2(102)

$\delta \geq k_1 + k_2 x_u/d$  for  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$


$\delta \geq k_3 + k_4 x_u/d$  for  $f_{ck} > 50\text{MPa}$

$\delta \geq k_5$



| EN1992-1-1  | EN1992-2  |
|---|---|
| $x_u/d \leq 0,25$ for concrete $\leq \text{C50/60}$ | $x_u/d \leq 0,15$ for concrete $\leq \text{C50/60}$ |
| $x_u/d \leq 0,15$ for concrete $\geq \text{C55/67}$ | $x_u/d \leq 0,10$ for concrete $\geq \text{C55/67}$ |


18




### Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů


#### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2

- **Posouzení smykové únosnosti – 6.2.2(101)**
  - Zahnutí předpínací výztuže do  $A_{sj}$  → výpočet  $\rho_1$
  - Zvýšení smykové únosnosti betonu  $V_{Rd,c}$





- $V_{Rd,c} = 3754,25\text{kN} \rightarrow 4202,75\text{kN} \rightarrow \text{o } 11\%$




19

**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**  
**Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2**

**Mezní stavy použitelnosti (SLS)**

- Limitní šířka trhlin – 7.3.1(105)
- Dekomprese – 100mm (EN), celý průřez tlačeny pro ČSN



**širka trhlin ... w\_max**

| Třída prostředí       | VD (Kvaz) | RM (frekv) | POST (frekv) | POST (Kvaz) | POST (Char) | PRE (frekv) | PRE (Kvaz) | PRE (Char) |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 1 XD1.XC1             | 0,300     | 0,000      | 0,200        | 0,000       | 0,000       | 0,200       | 0,000      | 0,000      |
| 2 XC2.XC3.XC4.XD1.XS1 | 0,300     | 0,000      | 0,200        | 0,000       | 0,000       | 0,000       | 0,000      | 0,200      |
| 3 XD2.XS2             | 0,300     | 0,000      | 0,000        | 0,000       | 0,200       | 0,000       | 0,000      | 0,200      |
| 4 XD3.XS3             | 0,000     | 0,300      | 0,000        | 0,000       | 0,200       | 0,000       | 0,000      | 0,000      |

**Posudek dekomprese**


| Třída prostředí       | VD (Kvaz) | RM (frekv) | POST (frekv) | POST (Kvaz) | POST (Char) | PRE (frekv) | PRE (Kvaz) | PRE (Char) |
|-----------------------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 1 XD1.XC1             | Ne        | Ne         | Ne           | Ano         | Ne          | Ne          | Ano        | Ne         |
| 2 XC2.XC3.XC4.XD1.XS1 | Ne        | Ne         | Ne           | Ano         | Ne          | Ne          | Ne         | Ne         |
| 3 XD2.XS2             | Ne        | Ne         | Ano          | Ne          | Ano         | Ne          | Ne         | Ne         |
| 4 XD3.XS3             | Ne        | Ne         | Ano          | Ne          | Ne          | Ne          | Ne         | Ano        |

**Vysvětlění:**  
VD = vyzulžený dílec; Kvaz = v kvazistálé kombinaci  
PD = předjetý dílec; Char = v charakteristické kombinaci  
POST = dílec s dostatečně předjetým kabelem; Prekv = v kombinaci pro často opakované zatížení

**Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů**  
**Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2**

**Navrhování s ohledem na stádia provádění**

- Dovolené tahové napětí v betonu v průběhu výstavby od kvazistálé kombinace zatížení – 113.3.2(103)

$$f_{ct,ex} = k \cdot f_{ctm}(t)$$


**Allowable stress of concrete EN 1992-1-1 and EN 1992-2**

Lineární výpočet, Extrém : Prvek  
Výběr : Vše  
Kombinace : F2-EN-MSP Kvazistálá

**Posudek předpětí na dovolené namáhání pro vybrané prvky**

| Prvek | q (kN) | Stav      | výhled     | R (kN) | M <sub>Ed</sub> (kN·m) | σ (MPa) | σ <sub>Ed</sub> (MPa) | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>ct,ex</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>ctm</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>ct</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | σ <sub>Ed</sub> /f <sub>td</sub> | Posouzení výp. | Posudek | Vit  |                 |
|-------|--------|-----------|------------|--------|------------------------|---------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|---------|------|-----------------|
| B1    | 0,003  | F2-EN-MSP | Kvazistálá | 1      | -1197,47               | -0,01   | -8,13                 | -8,13                               | -8,93                             | -8,93                            | -13,50                           | -13,50                           | -13,50                           | -13,50                           | -13,50                           | -13,50                           | 0,86           | výhovne | 1,23 | 224 198 352 197 |

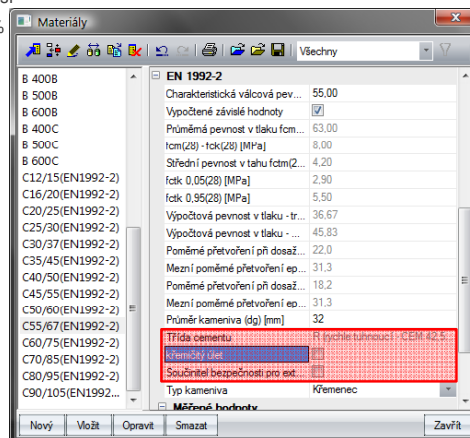
## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2



#### ▪ Poměrné přetvoření od dotvarování a smršťování – Příloha B

- Pouze pro mostní materiál C55/67 a vyšší
- Relativní vlhkost prostředí nižší než 80%
- Rychle tuhající cement
- Křemičitý úlet
- Smršťování
  - autogenní smršťování –  $\epsilon_{ca}(t)$
  - smršťování od vysychání –  $\epsilon_{cd}(t)$
- Dotvarování
  - základní dotvarování –  $\phi_b(t, t_0)$
  - dotvarování při vysychání –  $\phi_d(t, t_0)$



22

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

### Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2



#### ▪ Národní přílohy

| National annex | Reference                        |
|----------------|----------------------------------|
| Standard EN    | EN1992-2:2005/AC:2008            |
| Czech CSN      | CSN EN1992-2/NA:2007-05          |
| Slovak STN     | STN EN1992-2/NA:2008-07          |
| Austrian ONORM | ÖNORM B 1002-2/NA:2008-08        |
| French NF      | NF EN 1992-2:2007                |
| Dutch NEN      | NEN-EN 1992-2+C1:2011/NB:2011-12 |
| British BS     | BS EN1992-2/NA:2007-12           |
| Irish I.S      | I.S. EN1992-2/NA:2010-01         |
| Finnish SFS    | SFS EN1992-2/NA:2010-06          |
| Greek ELOT     | draft ELOT EN1492-2/NA:2009-06   |
| Polish PN      | PN-EN1992-2/NA:2010-03           |



23

## Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů

Posouzení mostních konstrukcí podle EN1992-2



### 4. Workshop Navrhování mostních konstrukcí podle EN

- Ing. Lukáš Dlouhý
- Ing. Jiří Porada
- kombinace zatížení pro konstrukce mostů podle EN1990/A1, příloha A2
- rozšíření betonových posudků pro betonové mosty podle EN 1992-2
- modelování předpjatých konstrukcí (předem a dodatečně předpjaté konstrukce)
- fáze výstavby a provozu



24

## Kontakt



## Děkujeme za pozornost

Nemetschek Scia, s.r.o.  
Evropská 2591/33E  
160 00 Praha  
Czech Republic

E-Mail: [info@scia.cz](mailto:info@scia.cz)  
Internet: [www.nemetschek-scia.com](http://www.nemetschek-scia.com)

25