

Projekt:

**Posouzení zatížitelnosti mostu přes Labe v Nymburce**

Číslo zprávy:

2020-03-12-013

Verze:

3

Datum:

09. 07. 2020

Zadavatel:

PRAGOPROJEKT, a.s.  
K Ryšánce 1668/16  
147 54 Praha 4  
Česká republika

Zpracoval:

Ing. Filip Šmejkal



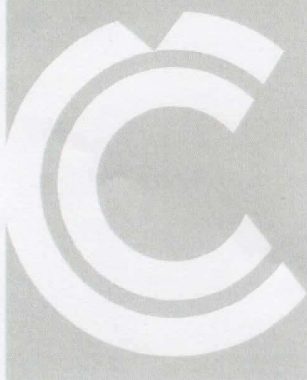
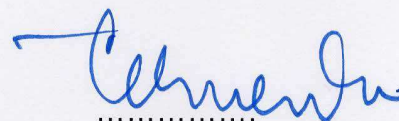
Vedoucí projektu:

Ing. Radomír Pukl, CSc.



Kontrola kvality:

Ing. Vladimír Červenka, Ph.D.



# Obsah

1	Úvod .....	16
2	Numerický model.....	18
2.1	Materiály.....	19
2.2	Okrajové podmínky .....	31
2.3	Zatížení .....	31
2.3.1	Obecné informace.....	31
2.3.1.1	Mezní stav únosnosti - MSÚ.....	31
2.3.1.2	Mezní stav použitelnosti - MSP .....	32
2.3.2	Smršťování .....	33
2.3.3	Stálá zatížení .....	35
2.3.4	Zatížení teplotou .....	35
2.3.5	Zatížení dopravou .....	35
2.3.5.1	Dynamický součinitel .....	35
2.3.5.2	Normální zatížitelnost .....	37
2.3.5.3	Výhradní zatížitelnost .....	37
2.3.5.4	Výjimečná zatížitelnost .....	38
2.3.6	MSÚ - Zatěžovací intervaly .....	39
2.3.6.1	Společné zatěžovací intervaly .....	40
2.3.6.2	Varianty rozmístění zatížení dopravou .....	46
2.3.7	MSP - Zatěžovací intervaly .....	56
2.3.7.1	Společné zatěžovací intervaly .....	57
2.3.7.2	Varianty rozmístění zatížení dopravou .....	57
2.4	Síť konečných prvků.....	59
3	Výsledky .....	60
3.1	MSÚ .....	60
3.1.1	Model A – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku ....	60
3.1.1.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t .....	62
3.1.1.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 28.35t.....	64
3.1.2	Model B – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro stojky.....	66

3.1.2.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t .....	67
3.1.2.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 40.15t.....	70
3.1.3	Model C – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	72
3.1.3.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t .....	74
3.1.3.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 30.5t.....	76
3.1.4	Model D – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku....	78
3.1.4.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t .....	79
3.1.4.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 67.47t.....	82
3.1.5	Model E – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky .....	84
3.1.5.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t .....	85
3.1.5.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 70.34t.....	88
3.1.6	Model F – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	90
3.1.6.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t .....	92
3.1.6.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 111.44t.....	94
3.1.7	Model G – MSÚ – výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	96
3.1.7.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 120t .....	97
3.1.7.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 126.86t.....	100
3.1.8	Model H – MSÚ – výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	102
3.1.8.1	Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 120t .....	103
3.1.8.2	Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 140t.....	106
3.2	MSP .....	108
3.2.1	MSP – pouze smrštění a stálá zatížení.....	109
3.2.2	MSP – kvazistálá kombinace .....	109
3.2.3	Model I – MSP charakteristická kombinace – normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku .....	110
3.2.4	Model J – MSP charakteristická kombinace – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku .....	111
3.2.5	Model K – MSP charakteristická kombinace – výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky.....	112
4	Shrnutí a závěr .....	113

Literatura .....	116
------------------	-----

## Seznam obrázků

Obr. 1-1 Podélný řez v ose prostředního pole mostu .....	16
Obr. 1-2 Příčný řez prostředního pole mostu ve vrcholu oblouku .....	17
Obr. 1-3 Příčný řez prostředního pole mostu v místě rámové konstrukce .....	17
Obr. 2-1 Podélný pohled na modelovanou část konstrukce.....	18
Obr. 2-2 Axonometrický pohled na modelovaný výsek.....	18
Obr. 2-3 Přehled použitých materiálů pro objemy.....	19
Obr. 2-4 Oblouk, příčná výztuž $\varnothing 8\text{mm}$ á200mm při horním i spodním povrchu .....	20
Obr. 2-5 Oblouk, oslabená podélná výztuž při horním povrchu $\varnothing 27\text{mm}$ á100mm a při spodním povrchu $\varnothing 24\text{mm}$ á100mm .....	20
Obr. 2-6 Sloupky, oslabená podélná výztuž v první řadě $\varnothing 11\text{mm}$ , v ostatních řadách oslabená podélná výztuž $\varnothing 15\text{mm}$ , třmínky $\varnothing 7\text{mm}$ á250mm .....	21
Obr. 2-7 Žebra podélná – oslabená ohybová výztuž $10 \times \varnothing 10\text{mm}$ , žebra příčná - oslabená ohybová výztuž $8 \times \varnothing 10\text{mm}$ , třmínky čtyřstřížné $\varnothing 16\text{mm}$ á200mm .....	21
Obr. 2-8 Deska, spodní výztuž $\varnothing 10\text{mm}$ á75mm.....	22
Obr. 2-9 Deska, horní výztuž $\varnothing 10\text{mm}$ á200mm .....	22
Obr. 2-10 Konzoly chodníku, ohyb.výztuž horní $5 \times \varnothing 10\text{mm}$ , ohyb.výztuž spodní $3 \times \varnothing 10\text{mm}$ , třmínky $4 \times \varnothing 7\text{mm}$ .....	23
Obr. 2-11 Deska chodníku, horní podélná výztuž $\varnothing 8\text{mm}$ á225mm, spodní podélná výztuž $\varnothing 8\text{mm}$ á75mm.....	23
Obr. 2-12 Deska chodníku, horní příčná výztuž $\varnothing 8\text{mm}$ á75mm, spodní příčná výztuž $\varnothing 8\text{mm}$ á225mm .....	24
Obr. 2-13 Závislost napětí v soudržnosti na pokluzu pro výztuž oblouku .....	27
Obr. 2-14 Závislost napětí v soudržnosti na pokluzu pro výztuž mostovky.....	28
Obr. 2-15 Podepření ve směru X,Y,Z (červená) .....	31
Obr. 2-16 Průběhy smršťování jednotlivých částí konstrukce.....	34
Obr. 2-17 Dynamické součinitele $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ v závislosti na vlastní frekvenci $f$ (Hz) [8] ....	36
Obr. 2-18 Třínápravové vozidlo – normální zatížitelnost [8].....	37
Obr. 2-19 Šestinápravové vozidlo – výhradní zatížitelnost [8] .....	38
Obr. 2-20 Devítinápravové vozidlo – výjimečná zatížitelnost [8].....	38
Obr. 2-21 Smrštění oblouku 1.....	40
Obr. 2-22 Ekvivalentní zatížení levé poloviny oblouku tíhou mostovky .....	41
Obr. 2-23 Smrštění oblouku 2, smrštění levé poloviny mostovky 1 .....	41



Obr. 2-24 Ekvivalentní zatížení pravé poloviny oblouku tíhou mostovky .....	42
Obr. 2-25 Smrštění oblouku 3, smrštění levé poloviny mostovky 2, smrštění pravé poloviny mostovky 1 .....	42
Obr. 2-26 VI. tíha mostovky a doplněk k vl. tíze oblouku .....	43
Obr. 2-27 Smrštění oblouku 4, smrštění levé poloviny mostovky 3, smrštění pravé poloviny mostovky 2 .....	43
Obr. 2-28 Ostatní stálá zatížení - plošná .....	44
Obr. 2-29 Ostatní stálá zatížení - liniová.....	45
Obr. 2-30 Smrštění oblouku 5, smrštění levé poloviny mostovky 4, smrštění pravé poloviny mostovky 3 .....	45
Obr. 2-31 Ochlazení oblouku o 29°C (červená) a mostovky o 34°C (zelená).....	46
Obr. 2-32 Návrhové zatížení chodníků .....	46
Obr. 2-33 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – umístění zadních náprav.....	47
Obr. 2-34 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – zatížení od zadních náprav.....	48
Obr. 2-35 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – plošné zatížení .....	48
Obr. 2-36 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – umístění zadních náprav.....	49
Obr. 2-37 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – zatížení od zadních náprav.....	49
Obr. 2-38 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – plošné zatížení.....	50
Obr. 2-39 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění zadních náprav .....	50
Obr. 2-40 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od zadních náprav .....	51
Obr. 2-41 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – plošné zatížení .....	51
Obr. 2-42 Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – umístění náprav .....	52
Obr. 2-43 Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – zatížení od náprav...	52
Obr. 2-44 Výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky – umístění náprav .....	53
Obr. 2-45 Výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky – zatížení od náprav .....	53
Obr. 2-46 Výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění náprav.....	54
Obr. 2-47 Výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od náprav.....	54
Obr. 2-48 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky – umístění náprav.....	55

Obr. 2-49 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky – zatížení od náprav.....	55
Obr. 2-50 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění náprav.....	56
Obr. 2-51 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od náprav.....	56
Obr. 2-52 Charakteristické zatížení chodníků.....	57
Obr. 2-53 Síť konečných prvků.....	59
Obr. 3-1 L-D diagram, model A – normální zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku	61
Obr. 3-2 Zatížitelnost, model A – normální zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku.	61
Obr. 3-3 Deformovaný tvar pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku .....	62
Obr. 3-4 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	62
Obr. 3-5 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	62
Obr. 3-6 Napětí ve výztuži pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku .....	63
Obr. 3-7 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	63
Obr. 3-8 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	63
Obr. 3-9 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	63
Obr. 3-10 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	63
Obr. 3-11 Šířka trhlin v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	64
Obr. 3-12 Šířka trhlin v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	64
Obr. 3-13 Deformovaný tvar pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku .....	64
Obr. 3-14 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	64
Obr. 3-15 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	65
Obr. 3-16 Napětí ve výztuži pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku .....	65

Obr. 3-17 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	65
Obr. 3-18 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	65
Obr. 3-19 Šířka trhlin v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	66
Obr. 3-20 Šířka trhlin v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	66
Obr. 3-21 L-D diagram, model B – normální zatížitelnost - kritická pro stojky .....	67
Obr. 3-22 Zatížitelnost, model B – normální zatížitelnost - kritická pro stojky.....	67
Obr. 3-23 Deformovaný tvar pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky .....	68
Obr. 3-24 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	68
Obr. 3-25 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	68
Obr. 3-26 Napětí ve výztuži pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky .....	68
Obr. 3-27 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	69
Obr. 3-28 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	69
Obr. 3-29 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	69
Obr. 3-30 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	69
Obr. 3-31 Šířka trhlin v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora.....	70
Obr. 3-32 Šířka trhlin v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	70
Obr. 3-33 Deformovaný tvar pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky .....	70
Obr. 3-34 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	70
Obr. 3-35 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	71
Obr. 3-36 Napětí ve výztuži pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky .....	71

Obr. 3-37 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	71
Obr. 3-38 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora.....	71
Obr. 3-39 Šířka trhlin v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	72
Obr. 3-40 Šířka trhlin v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	72
Obr. 3-41 L-D diagram, model C – normální zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	73
Obr. 3-42 Zatížitelnost, model C – normální zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	73
Obr. 3-43 Deformovaný tvar pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	74
Obr. 3-44 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	74
Obr. 3-45 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	74
Obr. 3-46 Napětí ve výztuži pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	74
Obr. 3-47 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	75
Obr. 3-48 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	75
Obr. 3-49 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	75
Obr. 3-50 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	75
Obr. 3-51 Šířka trhlin v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod.....	76
Obr. 3-52 Šířka trhlin v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	76
Obr. 3-53 Deformovaný tvar pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	76
Obr. 3-54 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	76
Obr. 3-55 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5 t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora.....	77

Obr. 3-56 Napětí ve výztuži pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	77
Obr. 3-57 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	77
Obr. 3-58 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	77
Obr. 3-59 Šířka trhlin v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	78
Obr. 3-60 Šířka trhlin v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	78
Obr. 3-61 L-D diagram, model D – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku .....	79
Obr. 3-62 Zatížitelnost, model D – výhradní zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku	79
Obr. 3-63 Deformovaný tvar pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku .....	80
Obr. 3-64 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	80
Obr. 3-65 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	80
Obr. 3-66 Napětí ve výztuži pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku .....	80
Obr. 3-67 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	81
Obr. 3-68 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	81
Obr. 3-69 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	81
Obr. 3-70 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	81
Obr. 3-71 Šířka trhlin v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora .....	82
Obr. 3-72 Šířka trhlin v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	82
Obr. 3-73 Deformovaný tvar pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku .....	82
Obr. 3-74 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	82

Obr. 3-75 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	83
Obr. 3-76 Napětí ve výztuži pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku .....	83
Obr. 3-77 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	83
Obr. 3-78 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	83
Obr. 3-79 Šířka trhlin v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	83
Obr. 3-80 Šířka trhlin v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora.....	84
Obr. 3-81 L-D diagram, model E – výhradní zatížitelnost - kritická pro stojky.....	85
Obr. 3-82 Zatížitelnost, model E – výhradní zatížitelnost - kritická pro stojky.....	85
Obr. 3-83 Deformovaný tvar pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky .....	86
Obr. 3-84 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	86
Obr. 3-85 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	86
Obr. 3-86 Napětí ve výztuži pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky .....	86
Obr. 3-87 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	87
Obr. 3-88 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	87
Obr. 3-89 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	87
Obr. 3-90 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	87
Obr. 3-91 Šířka trhlin v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	87
Obr. 3-92 Šířka trhlin v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora.....	88
Obr. 3-93 Deformovaný tvar pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky .....	88
Obr. 3-94 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod.....	88

Obr. 3-95 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	88
Obr. 3-96 Napětí ve výztuži pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky .....	89
Obr. 3-97 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	89
Obr. 3-98 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora.....	89
Obr. 3-99 Šířka trhlin v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod .....	89
Obr. 3-100 Šířka trhlin v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora .....	90
Obr. 3-101 L-D diagram, model F – výhradní zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	91
Obr. 3-102 Zatížitelnost, model F – výhradní zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	91
Obr. 3-103 Deformovaný tvar pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	92
Obr. 3-104 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	92
Obr. 3-105 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	92
Obr. 3-106 Napětí ve výztuži pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	92
Obr. 3-107 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	93
Obr. 3-108 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	93
Obr. 3-109 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	93
Obr. 3-110 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	93
Obr. 3-111 Šířka trhlin v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod.....	94
Obr. 3-112 Šířka trhlin v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	94
Obr. 3-113 Deformovaný tvar pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	94



Obr. 3-114 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	94
Obr. 3-115 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	95
Obr. 3-116 Napětí ve výztuži pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	95
Obr. 3-117 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	95
Obr. 3-118 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	95
Obr. 3-119 Šířka trhlin v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	96
Obr. 3-120 Šířka trhlin v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	96
Obr. 3-121 L-D diagram, model G – výjimečná zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	97
Obr. 3-122 Zatížitelnost, model G – výjimečná zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	97
Obr. 3-123 Deformovaný tvar, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	98
Obr. 3-124 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod .....	98
Obr. 3-125 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	98
Obr. 3-126 Napětí ve výztuži, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	98
Obr. 3-127 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod .....	99
Obr. 3-128 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	99
Obr. 3-129 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod .....	99
Obr. 3-130 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	99
Obr. 3-131 Šířka trhlin v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod .....	100
Obr. 3-132 Šířka trhlin v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	100

Obr. 3-133 Deformovaný tvar, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	100
Obr. 3-134 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod.....	100
Obr. 3-135 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	101
Obr. 3-136 Napětí ve výztuži, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky .....	101
Obr. 3-137 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod	101
Obr. 3-138 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora ..	101
Obr. 3-139 Šířka trhlin v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod.....	102
Obr. 3-140 Šířka trhlin v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora .....	102
Obr. 3-141 L-D diagram, model H – výjimečná zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	103
Obr. 3-142 Zatížitelnost, model H – výjimečná zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	103
Obr. 3-143 Deformovaný tvar, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku.....	104
Obr. 3-144 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	104
Obr. 3-145 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	104
Obr. 3-146 Napětí ve výztuži, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	104
Obr. 3-147 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	105
Obr. 3-148 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	105
Obr. 3-149 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	105
Obr. 3-150 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	105
Obr. 3-151 Šířka trhlin v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod.....	106

Obr. 3-152 Šířka trhlin v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	106
Obr. 3-153 Deformovaný tvar, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	106
Obr. 3-154 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	106
Obr. 3-155 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	107
Obr. 3-156 Napětí ve výztuži, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku .....	107
Obr. 3-157 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	107
Obr. 3-158 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	107
Obr. 3-159 Šířka trhlin v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod .....	108
Obr. 3-160 Šířka trhlin v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora .....	108
Obr. 3-161 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie shora .....	109
Obr. 3-162 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie z boku .....	109
Obr. 3-163 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie zespod .....	109
Obr. 3-164 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie shora .....	109
Obr. 3-165 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie z boku .....	110
Obr. 3-166 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie zespod .....	110
Obr. 3-167 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora .....	110
Obr. 3-168 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku .....	110
Obr. 3-169 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	111
Obr. 3-170 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora .....	111
Obr. 3-171 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku .....	111
Obr. 3-172 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	111

Obr. 3-173 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora .....	112
Obr. 3-174 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku .....	112
Obr. 3-175 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod .....	112
Obr. 4-1 Porovnání křivek pro varianty normální zatížitelnosti.....	114
Obr. 4-2 Porovnání křivek pro varianty výhradní zatížitelnosti.....	114
Obr. 4-3 Porovnání křivek pro varianty výjimečné zatížitelnosti.....	115

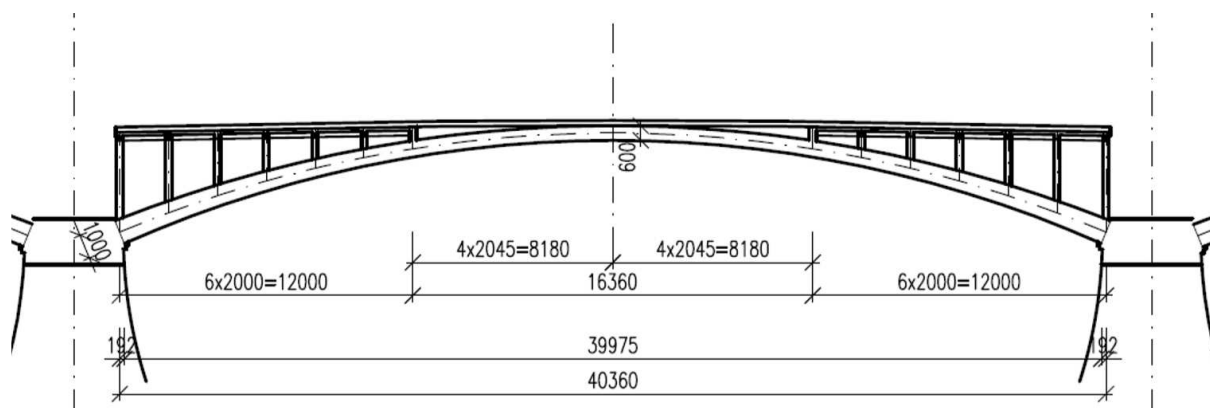
## Seznam tabulek

Tab. 1 Materiálové parametry – Arc-C20/25.....	24
Tab. 2 Materiálové parametry – Cantilever-C16/20 .....	25
Tab. 3 Materiálové parametry – Column-C16/20 .....	25
Tab. 4 Materiálové parametry – Sidewalk-C16/20 .....	25
Tab. 5 Materiálové parametry – Slab-C16/20 .....	26
Tab. 6 Materiálové parametry – Beams-C16/20 .....	26
Tab. 7 Materiálové parametry výztuže Arc-R8.....	26
Tab. 8 Materiálové parametry výztuže Arc-Rx-weaken .....	27
Tab. 9 Materiálové parametry výztuže Column-R7 .....	28
Tab. 10 Materiálové parametry výztuže Column-Rx-weaken .....	28
Tab. 11 Materiálové parametry výztuže Beams-R16.....	29
Tab. 12 Materiálové parametry výztuže Beams-Rx-weaken.....	29
Tab. 13 Materiálové parametry výztuže Slab-Rx .....	29
Tab. 14 Materiálové parametry výztuže Cantilever-R10 .....	30
Tab. 15 Materiálové parametry výztuže Cantilever-R7 .....	30
Tab. 16 Materiálové parametry výztuže Sidewalk-Rx.....	30
Tab. 17 Parametry výztuže .....	31
Tab. 18 Časové předpoklady .....	33
Tab. 19 Parametry pro výpočet průběhu smršťování .....	34
Tab. 20 Stálá zatížení – objemová (charakteristické hodnoty) .....	35
Tab. 21 Stálá zatížení – ostatní (charakteristické hodnoty) .....	35
Tab. 22 Hodnoty zatížení pro normální zatížitelnost třínápravovým vozidlem 20 t .....	37
Tab. 23 Hodnoty zatížení pro výhradní zatížitelnost šestinápravovým vozidlem 60 t....	38
Tab. 24 Hodnoty zatížení pro výjimečnou zatížitelnost devítinápravovým vozidlem 120 t .....	39
Tab. 25 Přehled ostatních stálých zatížení .....	44
Tab. 26 Přibližné rozměry a tvary prvků jednotlivých částí konstrukce .....	59

## 1 Úvod

Společnost Červenka Consulting s.r.o. byla oslovena projektově-inženýrskou kanceláří PRAGOPROJEKT a.s. (dále zadavatel) za účelem provedení nelineárního výpočtu zatížitelnosti mostního objektu ev. č. 503-004 přes řeku Labe v Nymburku vybranými kritickými zatěžovacími kombinacemi. Důvodem k provedení nelineárního výpočtu je nevyhovující únosnost některých částí konstrukce spočtená lineárními modely pro zatěžovací kombinace zahrnující zatížení teplotou. Lze očekávat, že v případě nelineárního výpočtu se vnitřní síly přerozdělí a konstrukce na dané kritické zatěžovací kombinace vyhoví.

Tato zpráva obsahuje popis numerického 3D modelu prostředního pole mostu a shrnutí dosažených výsledků. Výpočet byl proveden pomocí 3D konečně-prvkového software ATENA [1], [2], specializovaného pro nelineární analýzu betonových konstrukcí. Vzhledem k rozsahu dokumentace potřebné k vytvoření numerického modelu jsou zde uvedeny pouze odkazy [6], [7] a schematické řezy řešeného objektu viz. Obr. 1-1 - Obr. 1-3.



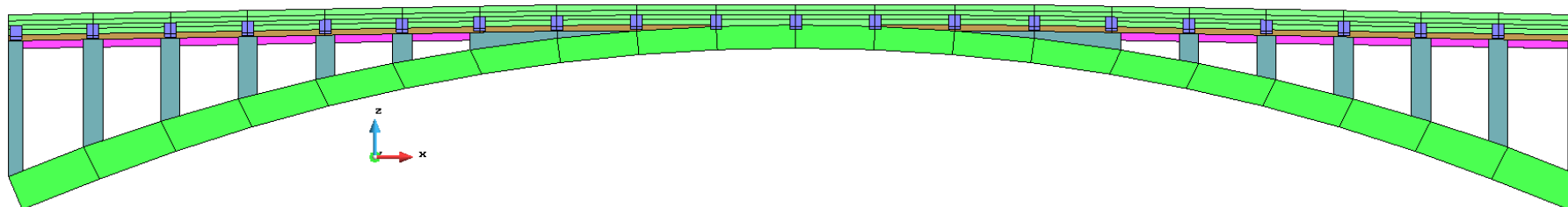
Obr. 1-1 Podélný řez v ose prostředního pole mostu



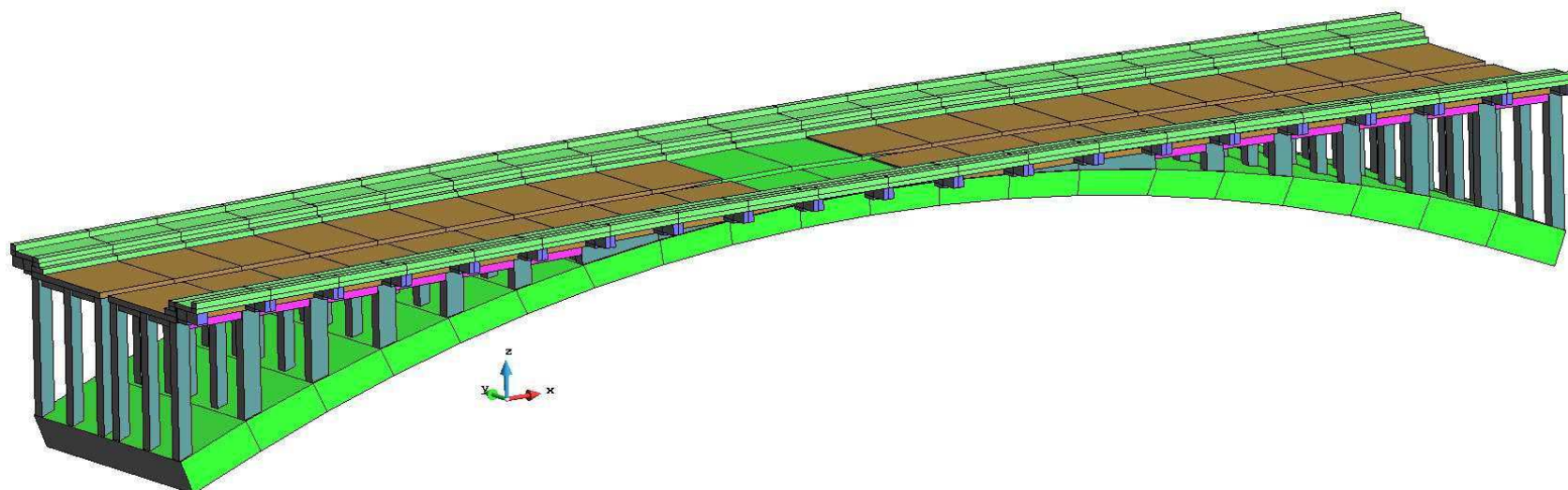


## 2 Numerický model

Numerický model je vytvořen pro prostřední pole mostu (Obr. 2-1 a Obr. 2-2).



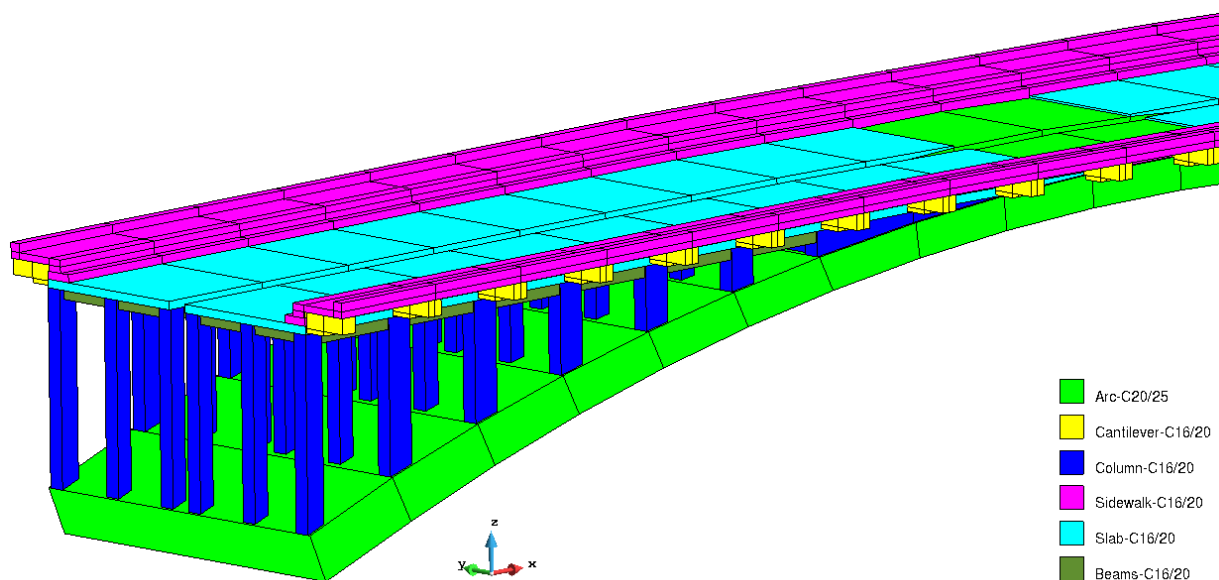
Obr. 2-1 Podélný pohled na modelovanou část konstrukce



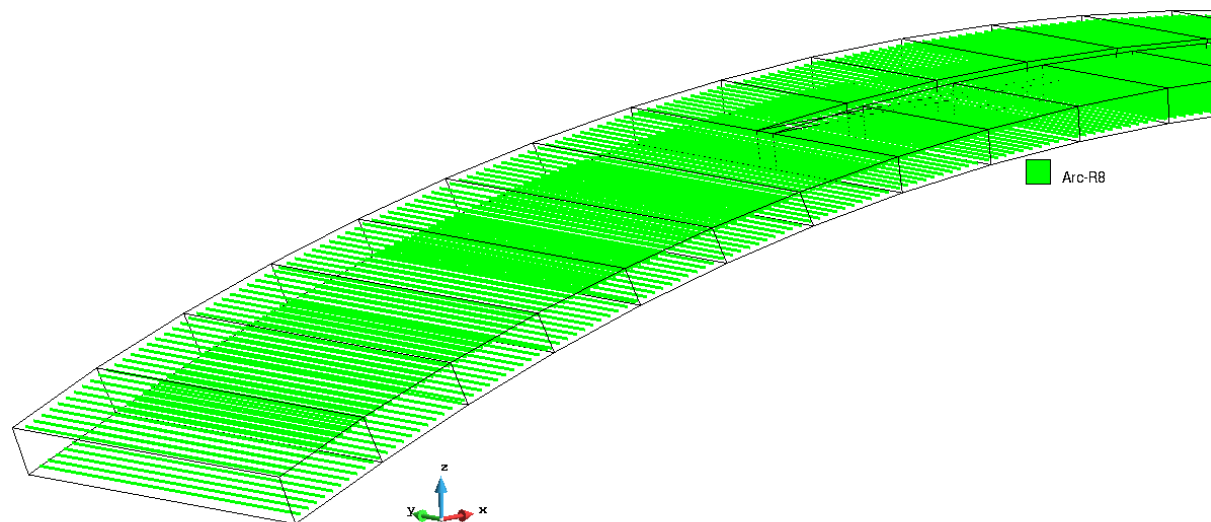
Obr. 2-2 Axonometrický pohled na modelovaný výsek

## 2.1 Materiály

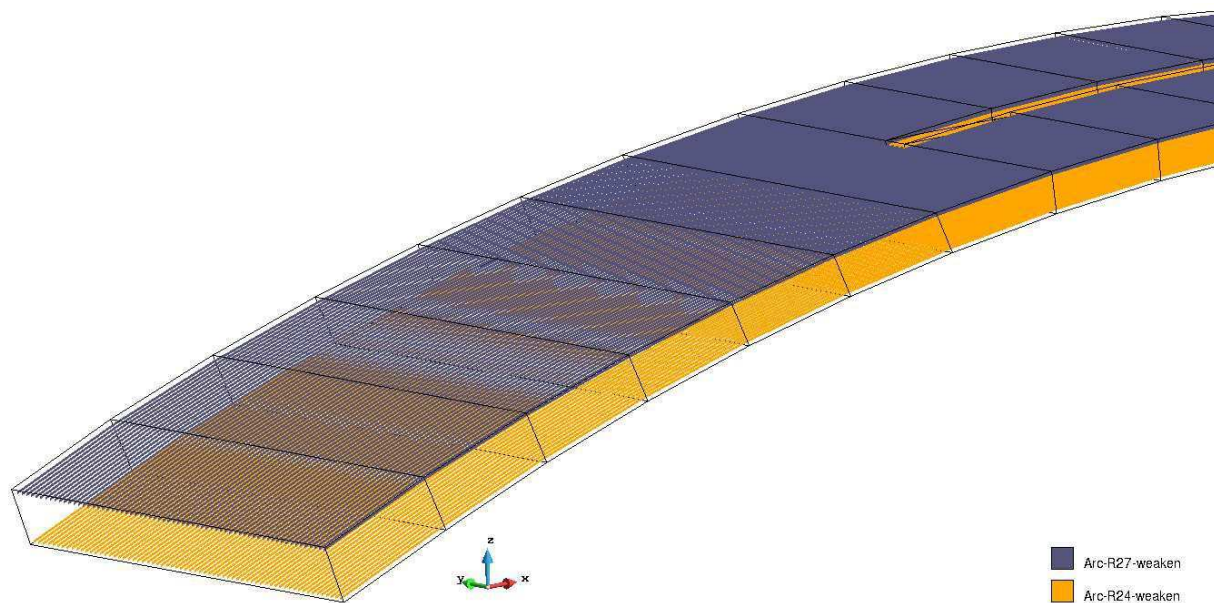
Numerický model se skládá z 3D těles (objemů) a 1D prvků pro modelování výztuže. Seznam materiálů přiřazených jednotlivým objemům je znázorněn na Obr. 2-3. Všem objemům je v numerickém modelu přiřazen materiál Cementitious2 (více v [1]), který reálně simuluje drcení betonu v tlaku i jeho tahové porušení a otevírání trhlin. Na Obr. 2-4 - Obr. 2-12 je detailně znázorněna výztuž v jednotlivých částech modelované konstrukce. Výztuž je modelována ideálně pružnoplastickým materiálem se zpevněním (více v [1]) a pro vybrané případy (zejména horní a spodní podélná výztuž oblouku, podélná výztuž stojek, ohybová výztuž žeber a výztuž desky) je uvažováno s omezenou soudržností mezi výztuží a okolním betonem (z důvodu použití hladké výztuže), jejíž konkrétní hodnoty jsou uvažovány dle [5]. Všechny použité materiálové parametry jsou zdokumentovány v Tab. 1 -Tab. 17.



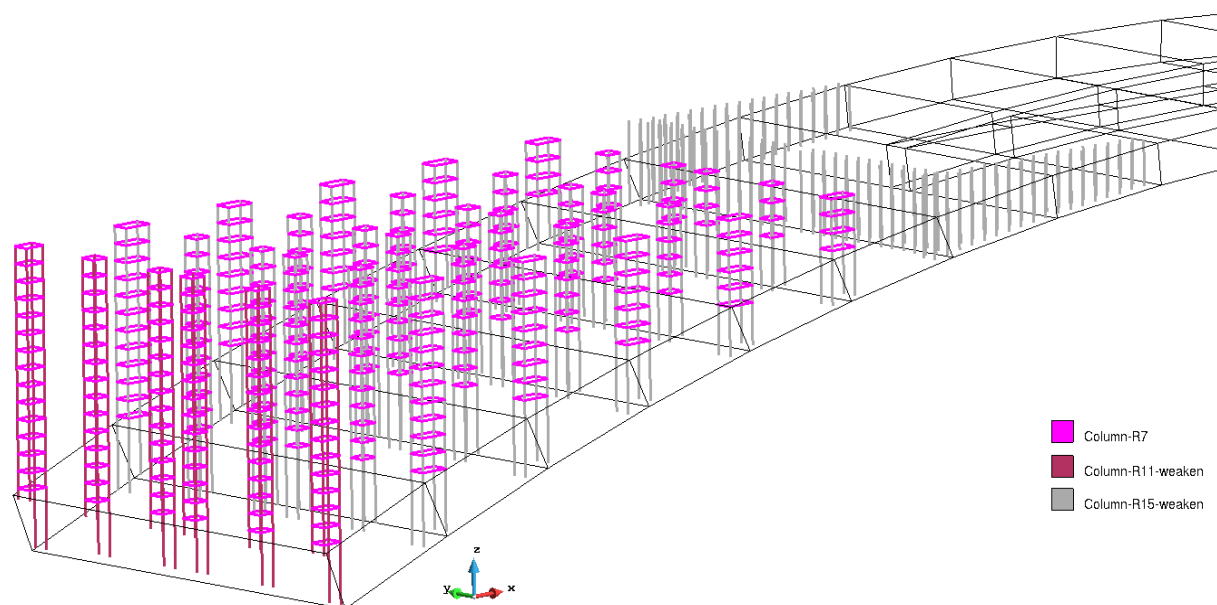
Obr. 2-3 Přehled použitých materiálů pro objemy



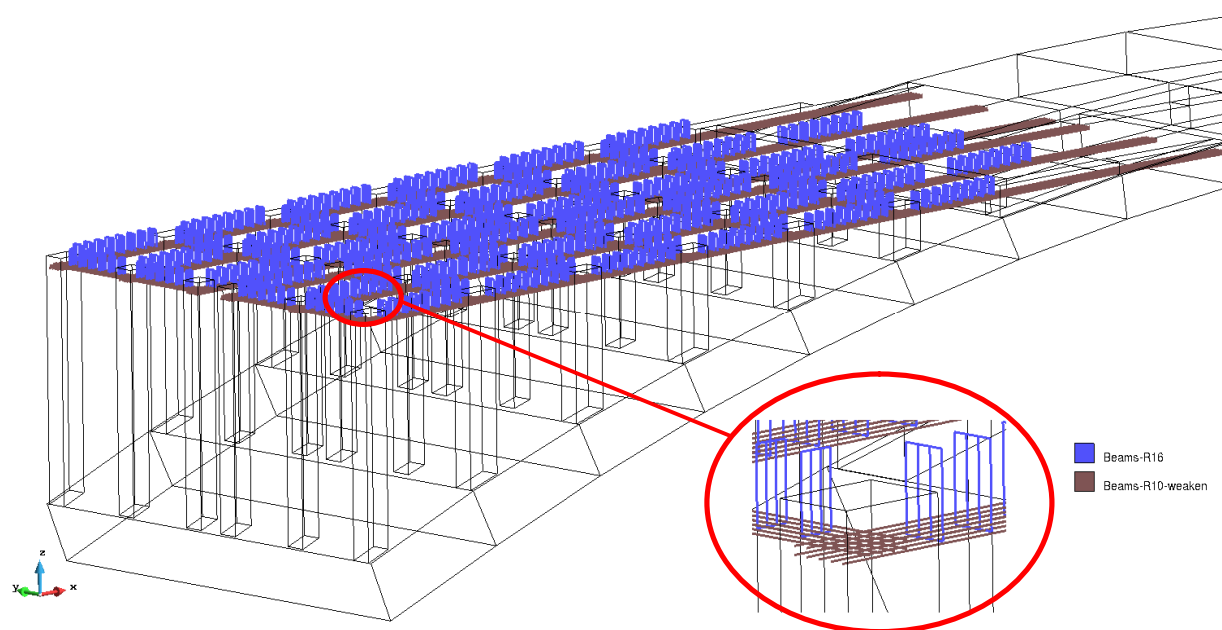
Obr. 2-4 Oblouk, příčná výztuž  $\varnothing 8\text{mm}$  á  $200\text{mm}$  při horním i spodním povrchu



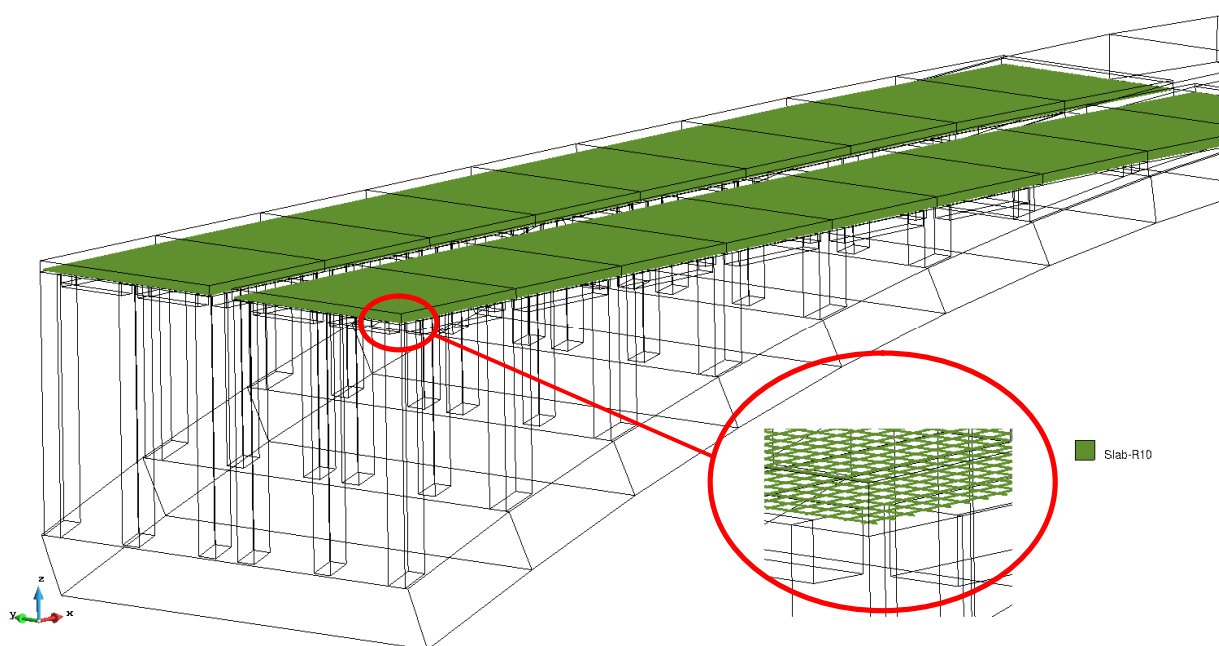
Obr. 2-5 Oblouk, oslabená podélná výztuž při horním povrchu  $\varnothing 27\text{mm}$  á  $100\text{mm}$  a při spodním povrchu  $\varnothing 24\text{mm}$  á  $100\text{mm}$



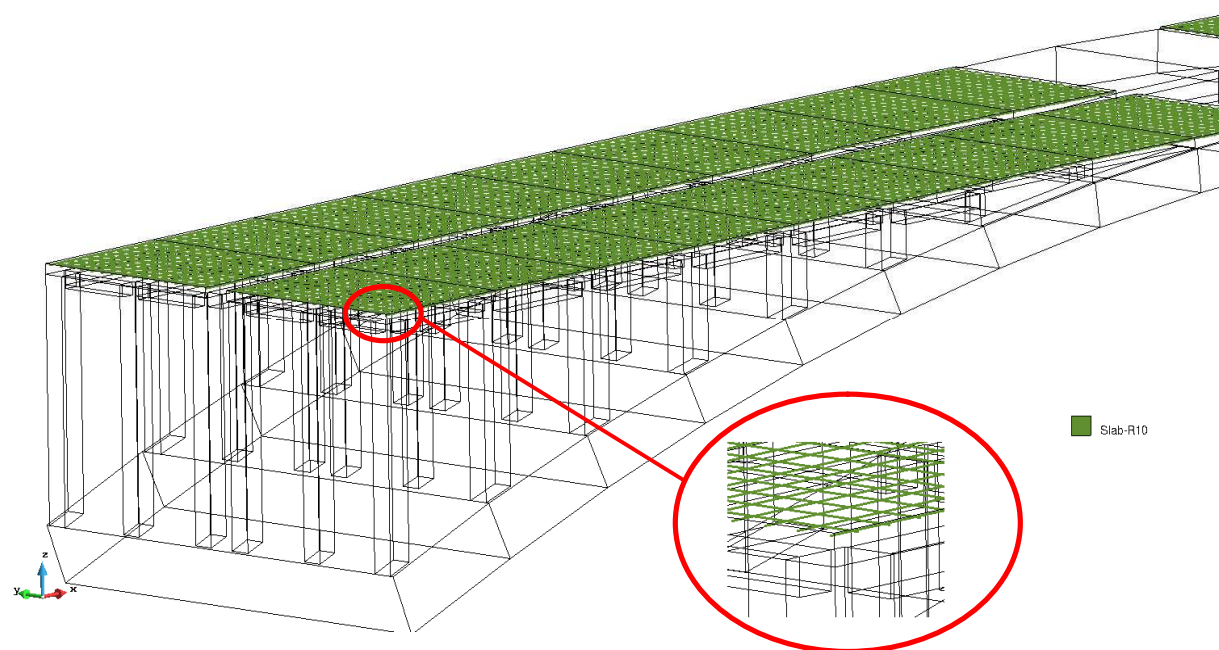
Obr. 2-6 Sloupky, oslabená podélná výztuž v první řadě Ø11mm, v ostatních řadách oslabená podélná výztuž Ø15mm, tříminky Ø7mm á250mm



Obr. 2-7 Žebra podélná – oslabená ohybová výztuž 10xØ10mm, žebra příčná - oslabená ohybová výztuž 8xØ10mm, tříminky čtyřstřížné Ø16mm á200mm

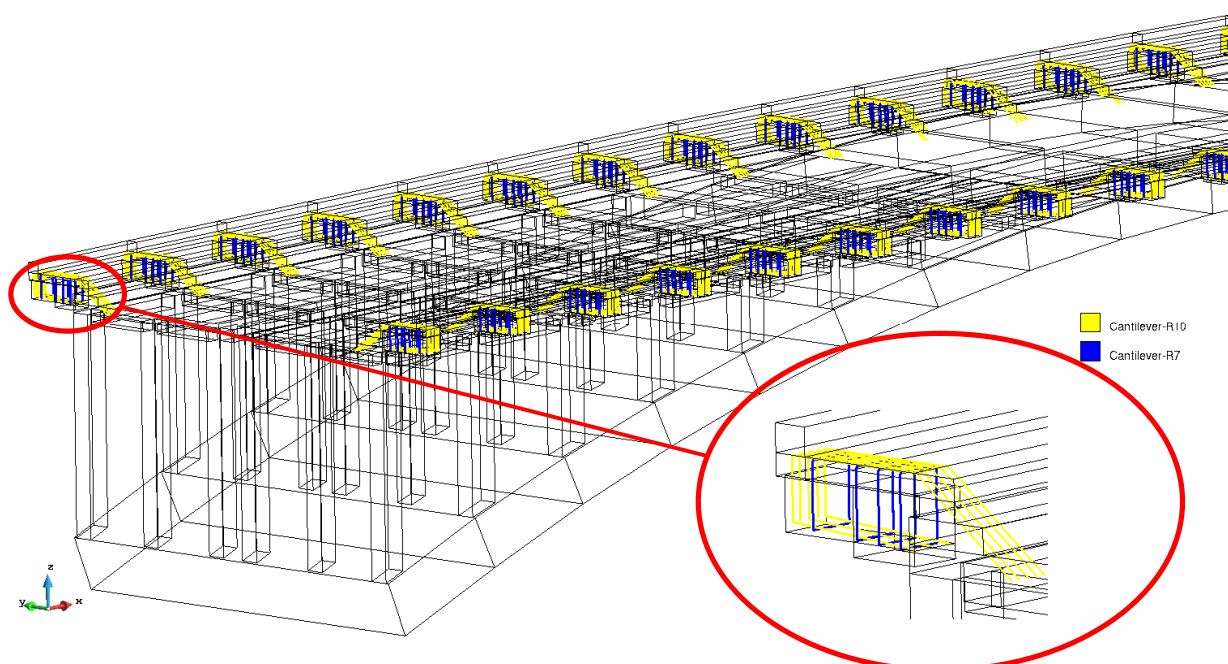


Obr. 2-8 Deska, spodní výztuž  $\varnothing 10\text{mm}$  á75mm

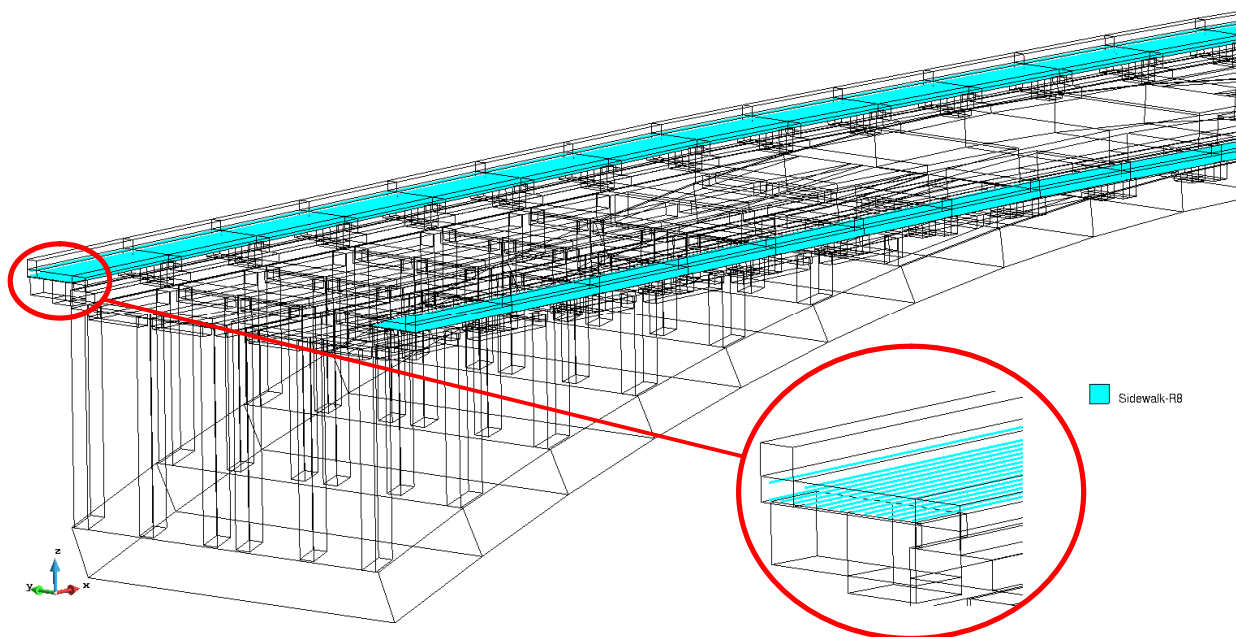


Obr. 2-9 Deska, horní výztuž  $\varnothing 10\text{mm}$  á200mm

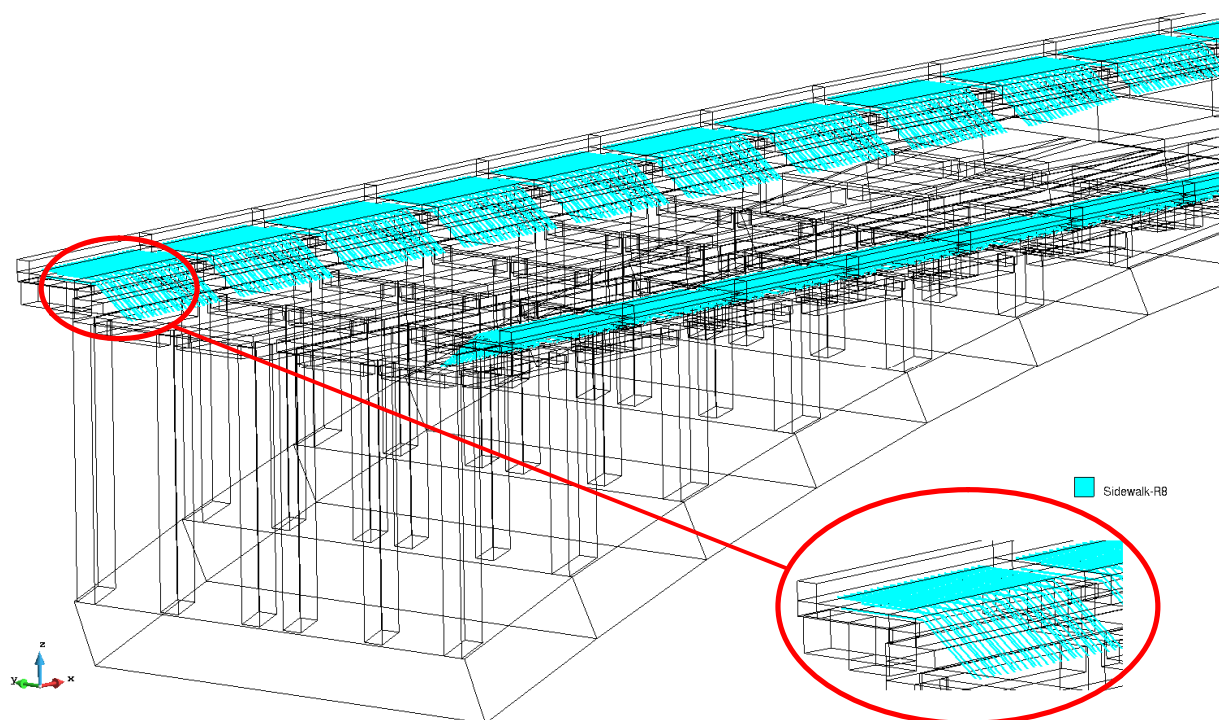




Obr. 2-10 Konzoly chodníku, ohyb.výztuž horní 5xØ10mm, ohyb.výztuž spodní 3xØ10mm, třmínky 4xØ7mm



Obr. 2-11 Deska chodníku, horní podélná výztuž Ø8mm á225mm, spodní podélná výztuž Ø8mm á75mm



Obr. 2-12 Deska chodníku, horní příčná výztuž Ø8mm á75mm, spodní příčná výztuž Ø8mm á225mm

Tab. 1 Materiálové parametry – Arc-C20/25

<b>Arc-C20/25</b>	Charakteristická	Návrhová
$E$ [GPa]	30	30
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	22.2	-14.8
$f_t$ [MPa]	1.5	1
$G_f$ [N/m]	37.5	25
$\varepsilon_{cp}$ [-]	0.0013	-0.00152



Tab. 2 Materiálové parametry – Cantilever-C16/20

<b><i>Cantilever-C16/20</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	29	29
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	-16.73	-11.15
$f_t$ [MPa]	1.3	0.867
$G_f$ [N/m]	32.55	21.7
$\varepsilon_{cp}$ [-]	-0.00132	-0.0015

Tab. 3 Materiálové parametry – Column-C16/20

<b><i>Column-C16/20</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	29	29
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	-16.73	-11.15
$f_t$ [MPa]	1.3	0.867
$G_f$ [N/m]	32.55	21.7
$\varepsilon_{cp}$ [-]	-0.00132	-0.0015

Tab. 4 Materiálové parametry – Sidewalk-C16/20

<b><i>Sidewalk-C16/20</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	29	29
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	-16.73	-11.15
$f_t$ [MPa]	1.3	0.867
$G_f$ [N/m]	32.55	21.7
$\varepsilon_{cp}$ [-]	-0.00132	-0.0015

Tab. 5 Materiálové parametry – Slab-C16/20

<b>Slab-C16/20</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	29	29
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	-16.73	-11.15
$f_t$ [MPa]	1.3	0.867
$G_f$ [N/m]	32.55	21.7
$\varepsilon_{cp}$ [-]	-0.00132	-0.0015

Tab. 6 Materiálové parametry – Beams-C16/20

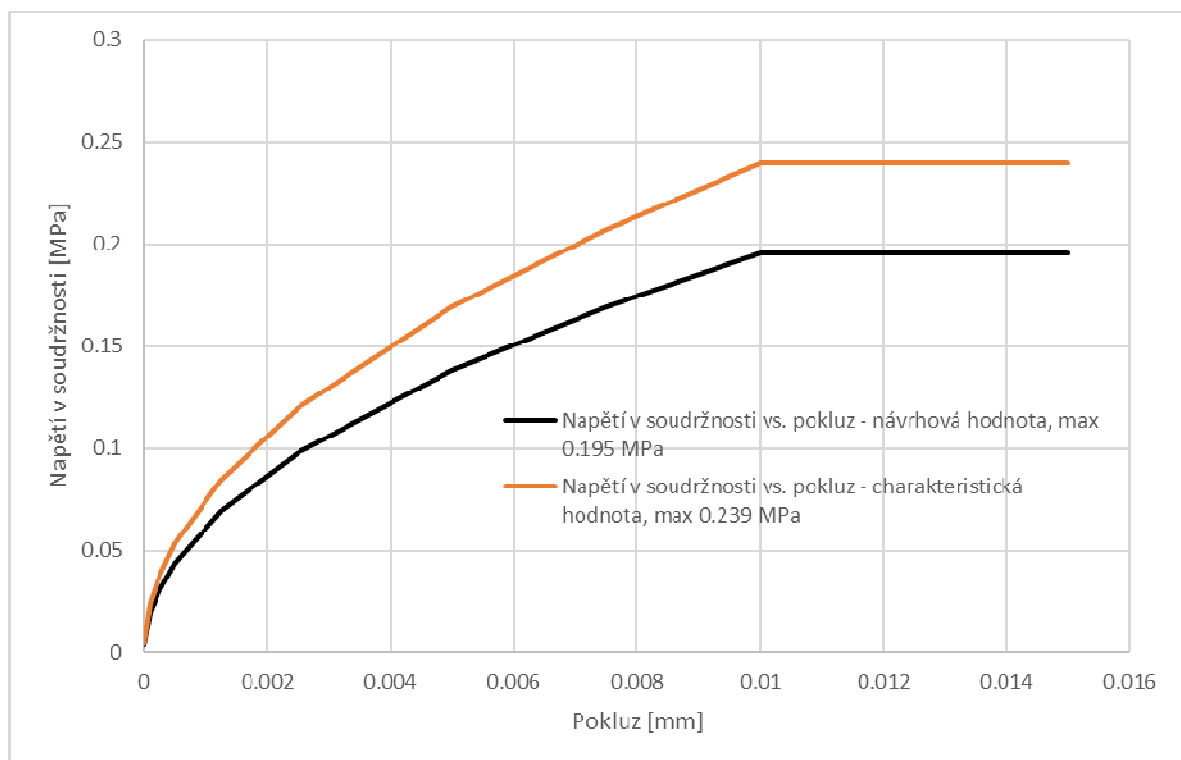
<b>Beams-C16/20</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	29	29
$\nu$ [-]	0.2	0.2
$f_c$ [MPa]	-16.73	-11.15
$f_t$ [MPa]	1.3	0.867
$G_f$ [N/m]	32.55	21.7
$\varepsilon_{cp}$ [-]	-0.00132	-0.0015

Tab. 7 Materiálové parametry výztuže Arc-R8

<b>Arc-R8</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	240	208.7
Pevnost [MPa]	335	291.3
$\varepsilon_{lim}$ [-]	0.025	0.0225

Tab. 8 Materiálové parametry výztuže Arc-Rx-weaken

<b><i>Arc-Rx-weaken</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	240	208.7
Pevnost [MPa]	335	291.3
$\varepsilon_{lim}$ [-]	0.025	0.0225
Soudržnost [5]	Obr. 2-13	Obr. 2-13



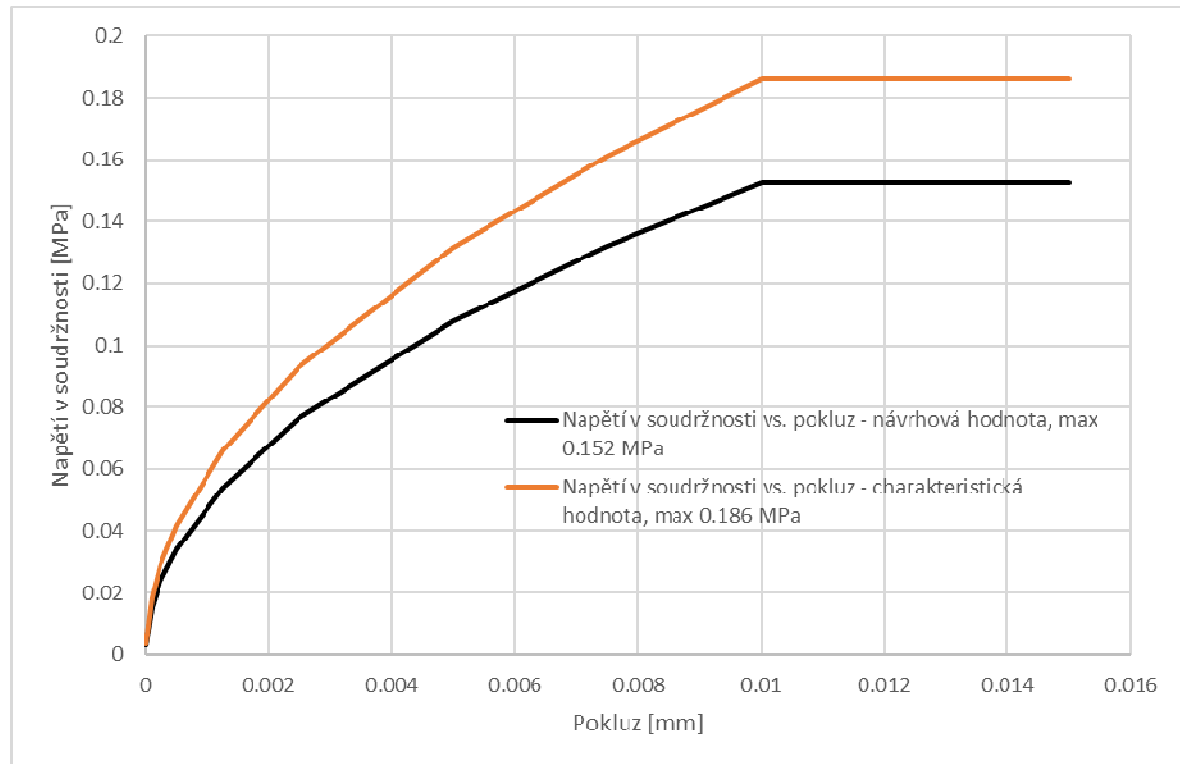
Obr. 2-13 Závislost napětí v soudržnosti na pokluzu pro výztuž oblouku

Tab. 9 Materiálové parametry výztuže Column-R7

<b>Column-R7</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	264.96	230.4
Pevnost [MPa]	379.96	330.4
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225

Tab. 10 Materiálové parametry výztuže Column-Rx-weaken

<b>Column-Rx-weaken</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	245	213
Pevnost [MPa]	350	304.3
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225
Soudržnost [5]	Obr. 2-14	Obr. 2-14



Obr. 2-14 Závislost napětí v soudržnosti na pokluzu pro výztuž mostovky

Tab. 11 Materiálové parametry výztuže Beams-R16

<b>Beams-R16</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	265	230.4
Pevnost [MPa]	380	330.4
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225

Tab. 12 Materiálové parametry výztuže Beams-Rx-weaken

<b>Beams-Rx-weaken</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	245	213
Pevnost [MPa]	350	304.3
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225
Soudržnost [5]	Obr. 2-14	Obr. 2-14

Tab. 13 Materiálové parametry výztuže Slab-Rx

<b>Slab-Rx</b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	245	213
Pevnost [MPa]	350	304.3
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225
Soudržnost [5]	Obr. 2-14	Obr. 2-14

Tab. 14 Materiálové parametry výztuže Cantilever-R10

<b><i>Cantilever-R10</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	245	213
Pevnost [MPa]	350	304.3
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225

Tab. 15 Materiálové parametry výztuže Cantilever-R7

<b><i>Cantilever-R7</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	265	230.4
Pevnost [MPa]	380	330.4
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225

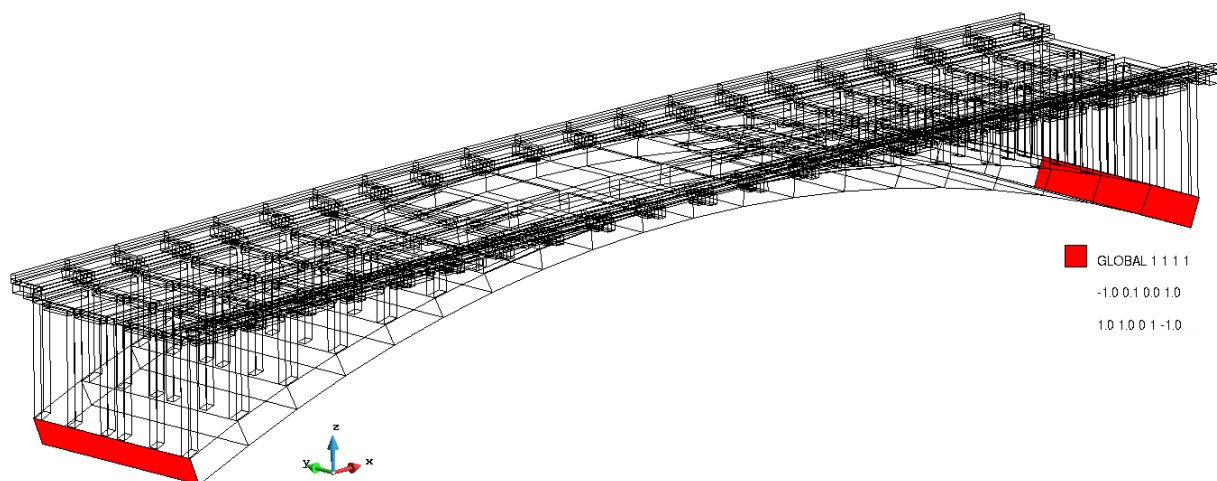
Tab. 16 Materiálové parametry výztuže Sidewalk-Rx

<b><i>Sidewalk-Rx</i></b>	Charakteristická	Návrhová
E [GPa]	200	200
Mez kluzu [MPa]	245	213
Pevnost [MPa]	350	304.3
$\varepsilon_{\text{lim}}$ [-]	0.025	0.0225

Tab. 17 Parametry výztuže

Materiál	Průměr [mm]	Průřez [mm <sup>2</sup> ]
<b>R7</b>	7	38.48
<b>R8</b>	8	50.26
<b>R10</b>	10	78.54
<b>R11</b>	11	95.03
<b>R15</b>	15	176.71
<b>R16</b>	16	201.06
<b>R24</b>	24	452.39
<b>R27</b>	27	572.56

## 2.2 Okrajové podmínky



Obr. 2-15 Podepření ve směru X,Y,Z (červená)

## 2.3 Zatížení

### 2.3.1 Obecné informace

#### 2.3.1.1 Mezní stav únosnosti - MSÚ

Po konzultaci se zadavatelem bylo na základě výsledků lineárního výpočtu dokumentovaných v [6] konstatováno, že pro posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ) je rozhodující zatěžovací kombinace popsaná rovnicí 6.10b v [8] s hlavním zatížením dopravou. Vzhledem k podstatnému vlivu smrštění betonu na celkovou únosnost konstrukce je nutné do zatěžovací kombinace 6.10b smršťování také zahrnout. Ve výpočtu naopak **NENÍ** uvažováno s dotvarováním betonu, a proto lze očekávat, že účinky smrštění se na konstrukci v simulaci projeví významněji, než by



odpovídalo realitě, což má v tomto případě za následek pouze konzervativnější hodnoty únosnosti. Výsledný tvar zatěžovací kombinace pro nelineární výpočet MSÚ je poté následující

$$\Sigma(\xi \cdot \gamma_G \cdot G) + \gamma_{Q,D} \cdot D + \gamma_{Q,T} \cdot \psi_{0,T} \cdot T + \gamma_{Q,s} \cdot s,$$

kde  $\xi = 0.85$  je redukční součinitel stálého zatížení,  $\gamma_G = 1.35$  je dílčí součinitel spolehlivosti pro stálá zatížení,  $G$  je stálé zatížení,  $\gamma_{Q,D} = 1.35$  je dílčí součinitel spolehlivosti pro zatížení dopravou,  $D$  je zatížení dopravou,  $\gamma_{Q,T} = 1.5$  je dílčí součinitel spolehlivosti pro zatížení teplotou,  $\psi_{0,T} = 0.6$  je součinitel kombinace pro zatížení teplotou,  $T$  je zatížení teplotou,  $\gamma_{Q,s} = 1$  je dílčí součinitel spolehlivosti pro zatížení smrštěním a  $s$  je zatížení smrštěním.

Pro posouzení MSÚ jsou použity **NÁVRHOVÉ** hodnoty materiálových parametrů.

Na základě výsledků lineárního výpočtu byly pro MSÚ vybrány následující kritické varianty zatížení dopravou :

- MSÚ Normální – kritické pro vetknutí oblouku
- MSÚ Normální – kritické pro stojky
- MSÚ Normální – kritické pro oblouk v polovině rozpětí
- MSÚ Výhradní – kritické pro vetknutí oblouku
- MSÚ Výhradní – kritické pro stojky
- MSÚ Výhradní – kritické pro oblouk v polovině rozpětí
- MSÚ Výjimečná – kritické pro vetknutí oblouku a pro stojky
- MSÚ Výjimečná – kritické pro oblouk v polovině rozpětí

Podrobnější popis velikosti a umístění zatížení, viz. dále.

Postup zatěžování probíhá v nelineárním výpočtu v jednotlivých po sobě jdoucích intervalech v určitých přírůstcích. Tímto způsobem se lze postupně dostat až na zvolenou kombinaci zatížení. Postup přidávání jednotlivých zatížení byl volen s cílem co nejlépe vystihnout zatěžování v průběhu životnosti konstrukce. Nejprve je simulován proces výstavby (postupné přitěžování jednotlivých částí konstrukce stálými zatíženími a smrštěním). Následně je přidáno zatížení teplotou (ochlazení) a poté zatížení dopravou.

### 2.3.1.2 Mezní stav použitelnosti - MSP

Z hlediska mezního stavu použitelnosti (MSP) jsou posuzovány šířky trhlin pro kvazi stálou kombinaci zatížení [8], která má v tomto případě tvar

$$\Sigma G + \psi_{2,T} \cdot T + s,$$

kde  $\psi_{2,T} = 0.5$

a pro charakteristickou kombinaci zatížení [8], která má tvar

$$\Sigma G + D + \psi_{0,T} \cdot T + s,$$

kde  $\psi_{0,T} = 0.6$ .

Pro posouzení MSP jsou použity **CHARAKTERISTICKÉ** hodnoty materiálových parametrů.

Na základě výsledků nelineárního výpočtu MSÚ (kapitola 2.3.1.1) byly pro posouzení charakteristické kombinace MSP vybrány následující kritické varianty zatížení dopravou:

- i) MSP Normální – kritické pro vetknutí oblouku
- j) MSP Výhradní – kritické pro vetknutí oblouku
- k) MSP Výjimečná – kritické pro vetknutí oblouku a pro stojky

Pro posouzení kvazistálé kombinace není třeba zvláštní varianty výpočtu, protože stav zatížení odpovídající této kombinaci předchází stavu zatížení ve všech variantách charakteristické kombinace a lze ho tedy posoudit z jakékoliv varianty výpočtu i) - k).

Podrobnější popis velikosti a umístění zatížení, viz. dále.

### 2.3.2 Smršťování

Dle doložených podkladů [6], [7] lze provádění konstrukce hrubě rozdělit do časových předpokladů, viz. Tab. 18. Průběhy smršťování obou částí konstrukce (oblouku a mostovky) byly spočteny dle vzorců uvedených v [3]. Vstupní parametry pro výpočet průběhů smrštění jsou uvedeny v

Tab. 19. Výsledné průběhy smršťování obou částí konstrukce včetně uvedení konečných hodnot jsou znázorněny na Obr. 2-16. Zahrnutí procesu výstavby do výpočtu bude podrobněji popsáno v následující kapitole 2.3.6.

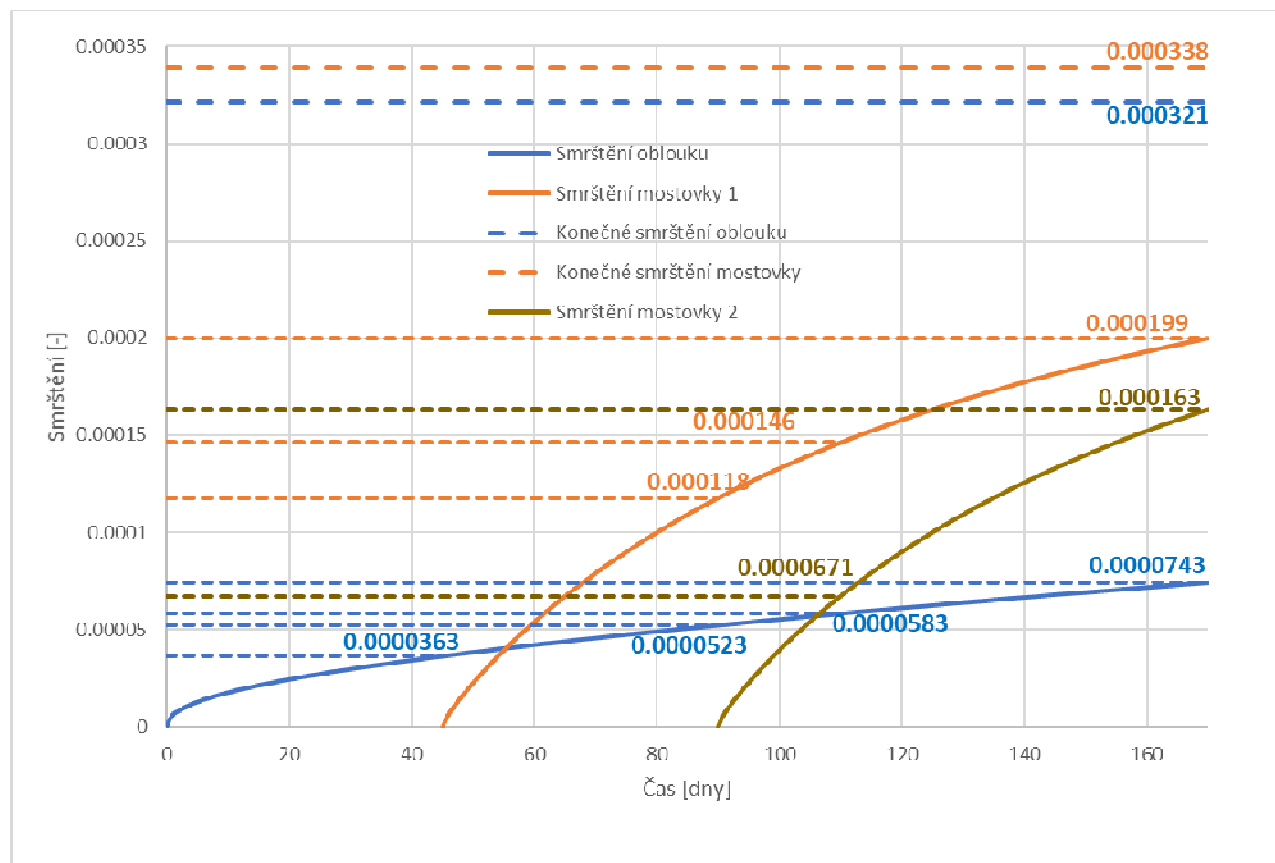
Tab. 18 Časové předpoklady

Etapa	Čas [dny]
Betonáž oblouku	0
Betonáž rámové mostovky vlevo	45
Betonáž rámové mostovky vpravo	90
Odbednění	110
Provedení svršku mostu	170

Tab. 19 Parametry pro výpočet průběhu smršťování

Parametr	Část konstrukce	
	Oblouk	Mostovka
$h_0$ [mm]	800	175
$k_h$ [-]	0.7	0.8875
$\alpha_{ds1}$ [-]	4	4
$\alpha_{ds2}$ [-]	0.12	0.12
$RH$ [%]	80	80
$f_{cm}$ [MPa]	31.4	23
$f_{ck}$ [MPa]	22.21	16.73

kde  $h_0$  je náhradní tloušťka průřezu,  $k_h$  je součinitel závisící na náhradní tloušťce průřezu,  $\alpha_{ds1}$ ,  $\alpha_{ds2}$  jsou součinitelé závisící na třídě cementu (uvažována N),  $RH$  je relativní vlhkost vzduchu,  $f_{cm}$  je průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku a  $f_{ck}$  je charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku.



Obr. 2-16 Průběhy smršťování jednotlivých částí konstrukce

### 2.3.3 Stálá zatížení

Charakteristické hodnoty objemové tíhy jednotlivých částí konstrukce jsou uvedeny v Tab. 20 a charakteristické hodnoty ostatních stálých zatížení (plošných a liniových) jsou uvedeny v Tab. 21. Přesné umístění jednotlivých zatížení bude uvedeno v následující kapitole 2.3.6.

Tab. 20 Stálá zatížení – objemová (charakteristické hodnoty)

Zatížení	Umístění	Hodnota
Obj. tíha oblouku	těleso oblouku	25.2 kN/m <sup>3</sup>
Obj. tíha sloupků	tělesa sloupků	22.5 kN/m <sup>3</sup>
Obj. tíha žeber	tělesa žeber	25.6 kN/m <sup>3</sup>
Obj. tíha desky	těleso desky	25 kN/m <sup>3</sup>
Obj. tíha desky chodníku	tělesa desky chodníku	24.7 kN/m <sup>3</sup>
Obj. tíha konzol chodníku	tělesa konzol chodníku	24.3 kN/m <sup>3</sup>

Tab. 21 Stálá zatížení – ostatní (charakteristické hodnoty)

Zatížení	Liniové [kN/m]	Zatěžovací šířka [m]	Plošné [kN/m <sup>2</sup> ]
Vozovka + přídavná bet. Deska	12.65+23.1=35.75	2x3.07=6.14	35.75/6.14=5.822
Chodník	3.48	0.77	4.52
Obrubník	0.34	0.28	1.214
Zábradlí	2.68	0.205	13.07
Vodovod	2x0.385=0.77	-	-

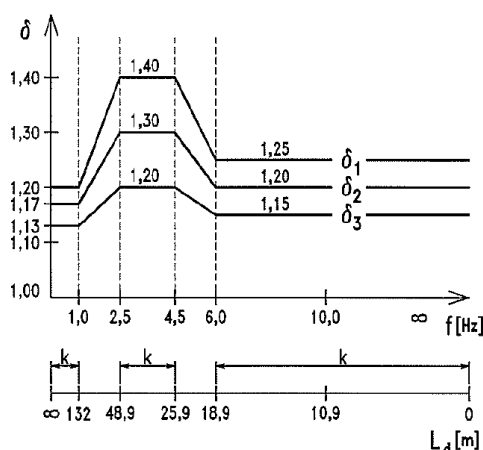
### 2.3.4 Zatížení teplotou

Nejméně příznivý stav zatížení teplotou je dle lineárního výpočtu rovnoměrná změna teploty tělesa oblouku o -29°C (ochlazení) a rovnoměrná změna teploty tělesa mostovky (zbytku konstrukce) o -34°C (ochlazení).

### 2.3.5 Zatížení dopravou

#### 2.3.5.1 Dynamický součinitel

Dynamický součinitel se uvažuje dle kap. 8 v [8].



Obr. 2-17 Dynamické součinitele  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  v závislosti na vlastní frekvenci  $f$  (Hz) [8]

**Pro zatížení oblouku:**

Náhradní délka  $L_d$  (polovina rozpětí):  $L_d = 40/2 = 20$  m

Vlastní frekvence:  $f = 90.6 \cdot L_d^{-0.923} = 90.6 \times 20.0^{-0.923} = 5.7$  Hz

Dynamický součinitel se určí interpolací dle Obr. 2-17.

$\delta_1 = 1.28$ ;  $\delta_2 = 1.22$ ;  $\delta_3 = 1.16$

**Pro zatížení rámové konstrukce nad obloukem:**

Náhradní délka  $L_d$  (průměrná velikost rozpětí):  $L_d = 2.0$  m

Vlastní frekvence:  $f = 90.6 \cdot L_d^{-0.923} = 90.6 \times 2.0^{-0.923} = 47.8$

Dynamický součinitel má hodnoty  $\delta_1 = 1.25$ ;  $\delta_2 = 1.20$ ;  $\delta_3 = 1.15$

V dalším výpočtu uvažujeme na straně bezpečné dynamický součinitel hodnotami pro oblouk. Výsledné hodnoty dynamického součinitele pro jednotlivé typy zatížitelnosti jsou následující:

Normální zatížitelnost:

$\delta = 1.4$  (zatížení jedním kolem, jednou nápravou)

$\delta = \delta_1 = 1.28$  (zatížení jedním zatěžovacím pruhem)

$\delta = \delta_2 = 1.22$  (zatížení dvěma zatěžovacími pruhy)

$\delta = 2$  (zatížení jedním kolem nebo jednou nápravou v oblasti mostního závěru)

Výhradní zatížitelnost:

$\delta = 1.4$  (zatížení jedním kolem, jednou nápravou)

$\delta = \delta_1 = 1.28$  (zatížení více nápravami, nebo celým vozidlem)

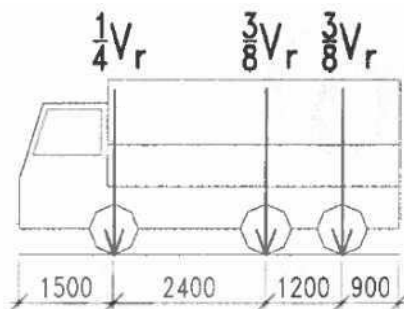
$\delta = 2$  (zatížení jedním kolem nebo jednou nápravou v oblasti mostního závěru)

### Výjimečná zatížitelnost:

$\delta = 1.4$  (zatížení jedním kolem, jednou nápravou, nebo celým vozidlem)

### **2.3.5.2 Normální zatížitelnost**

Uvažována dle čl. 7.1 v [8]. Předpokládáme třínápravové vozidlo (Obr. 2-18). Dotyková plocha kola je 0.4 m x 0.2 m. Osová vzdálenost kol v příčném směru vozidla je 2 m. Konkrétní umístění jednotlivých zatížení viz. kapitola 2.3.6.



Obr. 2-18 Třínápravové vozidlo – normální zatížitelnost [8]

Základní předpokládaná zatížitelnost je 20 t, odpovídající hodnoty zatížení jsou uvedeny v Tab. 22. Do výpočtu je nutné tyto hodnoty zadat s odpovídajícím dynamickým součinitelem (viz. výše).

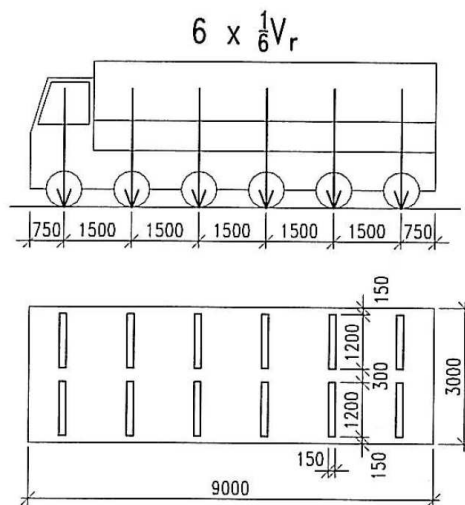
Tab. 22 Hodnoty zatížení pro normální zatížitelnost třínápravovým vozidlem 20 t

Název	Hodnota
Plošné zatížení	$2.5 \times 3/4 \times 200/100 = 3.75 \text{ kN/m}^2$
Zatížení na jedno kolo zadních náprav	$3/8/2 \times 200 = 37.5 \text{ kN}$

Plošné zatížení chodníků šířky 1.25m je uvažováno  $2.5 \text{ kN/m}^2$ .

### **2.3.5.3 Výhradní zatížitelnost**

Uvažována dle čl. 7.2 v [8]. Předpokládáme šestinápravové vozidlo (Obr. 2-19). Dotyková plocha kola je 1.2 m x 0.15 m. Konkrétní umístění náprav viz. kapitola 2.3.6.



Obr. 2-19 Šestinápravové vozidlo – výhradní zatížitelnost [8]

Základní předpokládaná zatížitelnost je 60 t, odpovídající hodnoty zatížení jsou uvedeny v Tab. 23. Do výpočtu je nutné tyto hodnoty zadat s odpovídajícím dynamickým součinitelem (viz. výše).

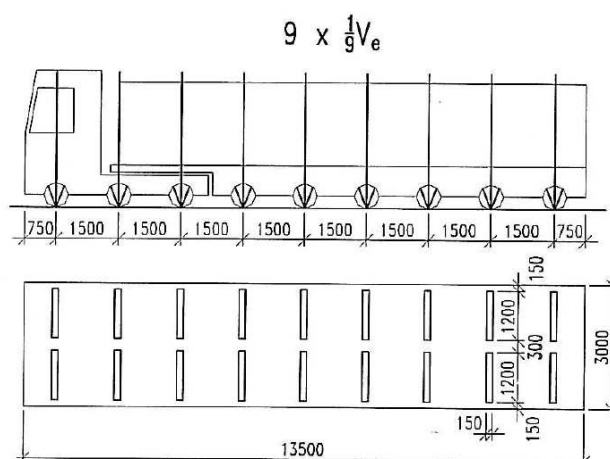
Tab. 23 Hodnoty zatížení pro výhradní zatížitelnost šestinápravovým vozidlem 60 t

Název	Hodnota
Zatížení na jedno kolo	$1/6/2 \times 600 = 50 \text{ kN}$

Plošné zatížení chodníků šířky 1.25m je uvažováno  $2.5 \text{ kN/m}^2$ .

#### 2.3.5.4 Výjimečná zatížitelnost

Uvažována dle čl. 7.3 v [8]. Předpokládáme devítinápravové vozidlo (Obr. 2-20). Dotyková plocha kola je 1.2 m x 0.15 m. Konkrétní umístění náprav viz. kapitola 2.3.6.



Obr. 2-20 Devítinápravové vozidlo – výjimečná zatížitelnost [8]

Základní předpokládaná zatížitelnost je 120 t, odpovídající hodnoty zatížení jsou uvedeny v Tab. 24. Do výpočtu je nutné tyto hodnoty zadat s odpovídajícím dynamickým součinitelem (viz. výše).

Tab. 24 Hodnoty zatížení pro výjimečnou zatížitelnost devítnápravovým vozidlem 120 t

Název	Hodnota
Zatížení na jedno kolo	1/6/2x600=50 kN

Plošné zatížení chodníků šířky 1.25m je uvažováno 2.5 kN/m<sup>2</sup>.

### 2.3.6 MSÚ - Zatěžovací intervaly

Postup zatěžování na **NÁVRHOVOU** kombinaci (kapitola 2.3.1) je volen s cílem co nejlépe vystihnout zatěžování v průběhu životnosti konstrukce.

V čase  $t=0$  dní je vybetonován oblouk, jehož vlastní tíhu nese prozatím bednění (není zatížen silovým zatížením). Následuje první část smršťování oblouku až do času  $t=45$  dní (**Interval 1**).

V čase  $t=45$  dní je provedena betonáž levé části mostovky. V tomto okamžiku je levá polovina oblouku přitížena charakteristickou vlastní tíhou poloviny mostovky (celková tíha poloviny mostovky je rozpočtena na polovinu objemu oblouku a ta je zatížena odpovídajícím objemovým zatížením), ale vlastní tíhu oblouku nese stále bednění (předpoklad) (**Interval 2**).

Následuje druhá část smršťování oblouku a první část smršťování levé poloviny mostovky až do času  $t=90$  dní (**Interval 3**).

V čase  $t=90$  dní je provedena betonáž pravé poloviny mostovky. V tomto okamžiku je pravá polovina oblouku přitížena charakteristickou vlastní tíhou poloviny mostovky (jako v intervalu 2), vlastní tíhu oblouku nese stále bednění (předpoklad) (**Interval 4**).

Následuje třetí část smršťování oblouku, druhá část smršťování levé poloviny mostovky a první část smršťování pravé poloviny mostovky až do času  $t=110$  dní (**Interval 5**).

V čase  $t=110$  dní je celá konstrukce odbedněna, a tedy mostovka je zatížena svou charakteristickou vlastní tíhou a objemové zatížení oblouku je doplněno do jeho celkové charakteristické objemové tíhy (**Interval 6**).

Následuje čtvrtá část smršťování oblouku, třetí část smršťování levé poloviny mostovky a druhá část smršťování pravé poloviny mostovky až do času  $t=170$  dní (**Interval 7**).

Dále pak následuje zatížení ostatními stálými zatíženími – charakteristické hodnoty (vozovka, přídatná betonová deska, chodníky, obrubníky, zábradlí, vodovod) (**Interval 8**).

Poté následuje smršťování všech částí konstrukce až do konečných hodnot smrštění (**Interval 9**).

Další intervaly zahrnují charakteristické zatížení teplotou – ochlazení (**Interval 10**), přitížení všech stálých zatížení na návrhovou hodnotu (**Interval 11**), přídavek zatížení



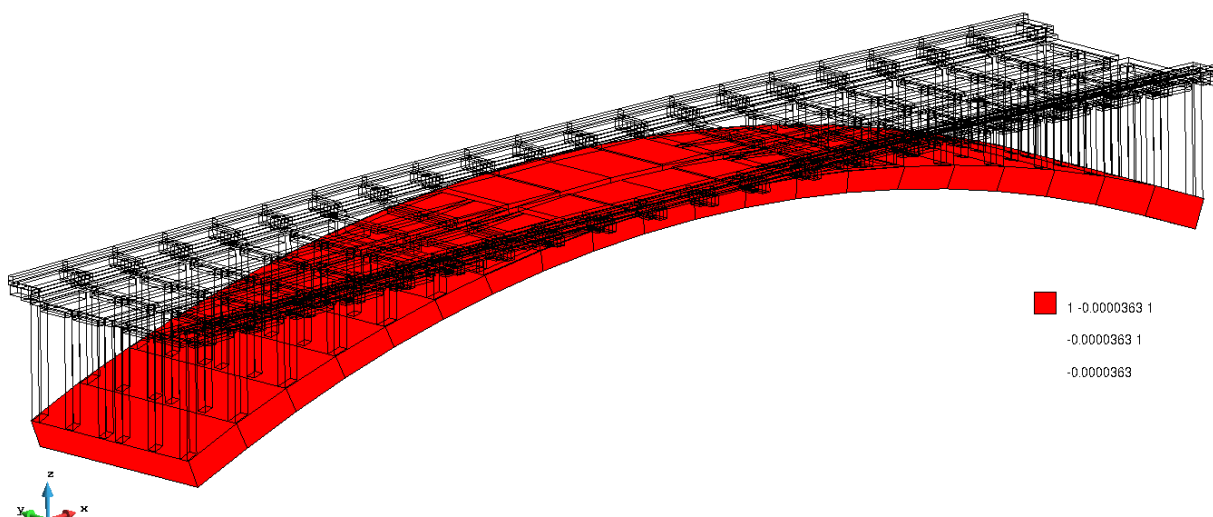
teplotou na návrhovou hodnotu (v tomto případě mírné oteplení protože  $\gamma_{Q,T} \cdot \psi_{0,T} = 0.9$  v návrhové kombinaci) (**Interval 12**) a zatížení chodníků návrhovou hodnotou plošného zatížení (**Interval 13**).

Až do této fáze je postup zatěžování identický pro všech osm posuzovaných variant zatížení dopravou. V následujícím intervalu (**Interval 14**) je konstrukce zatížena na návrhovou hodnotu dopravního zatížení (přesné umístění pro jednotlivé varianty viz. dále). Nakonec je zatížení z intervalu 14 dále zvyšováno, dokud se konstrukce nezačne porušovat (**Interval 15**).

### 2.3.6.1 Společné zatěžovací intervaly

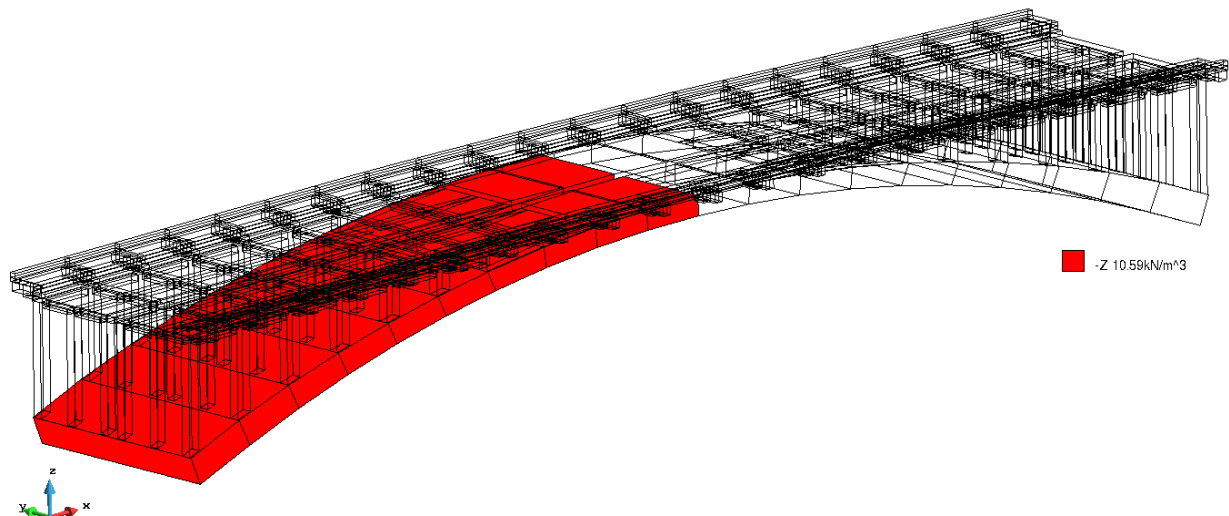
Detailní popis zatížení v jednotlivých intervalech společných pro všechny varianty výpočtu je následující:

**Interval 1:** Smršťování oblouku 1,  $\varepsilon_{s,arc1} = -\varepsilon_{s,arc}^{t=45} = -0.0000363,5$  kroků (Obr. 2-21)



Obr. 2-21 Smrštění oblouku 1

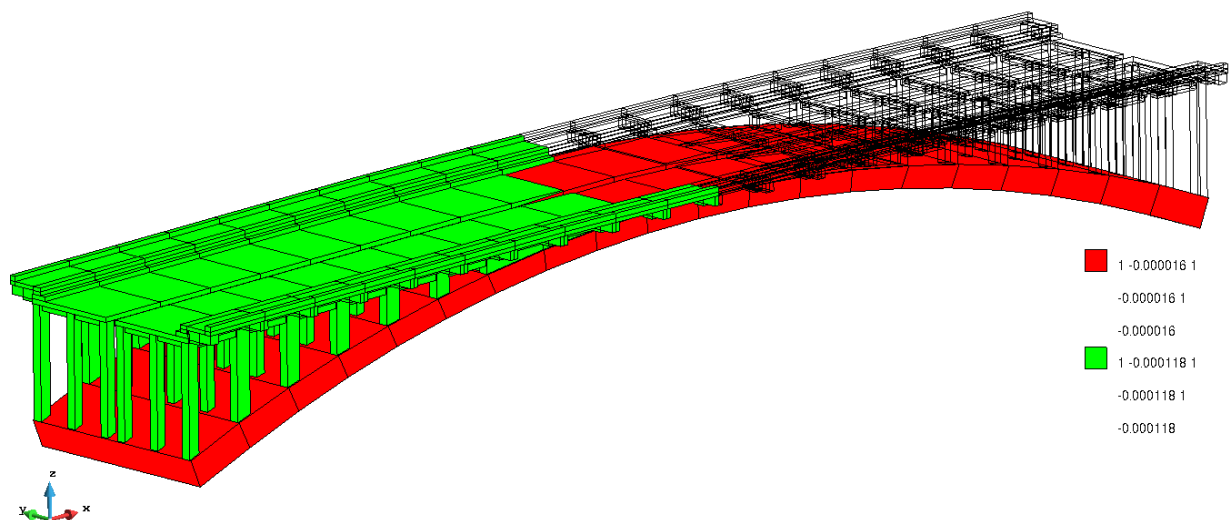
**Interval 2:** Zatížení levé poloviny oblouku charakteristickou tíhou mostovky, objem konstrukce mostovky  $V_m=43.27 \text{ m}^3$ , objemová tíha konstrukce mostovky  $\gamma_m=24.42 \text{ kN/m}^3$ , objem konstrukce oblouku  $V_o=99.77 \text{ m}^3$ , ekvivalentní objemové zatížení oblouku  $\gamma_{o,eq} = V_m \times \gamma_m / V_o = 43.27 \times 24.42 / 99.77 = 10.59 \text{ kN/m}^3$ , 5 kroků (Obr. 2-22)



Obr. 2-22 Ekvivalentní zatížení levé poloviny oblouku tíhou mostovky

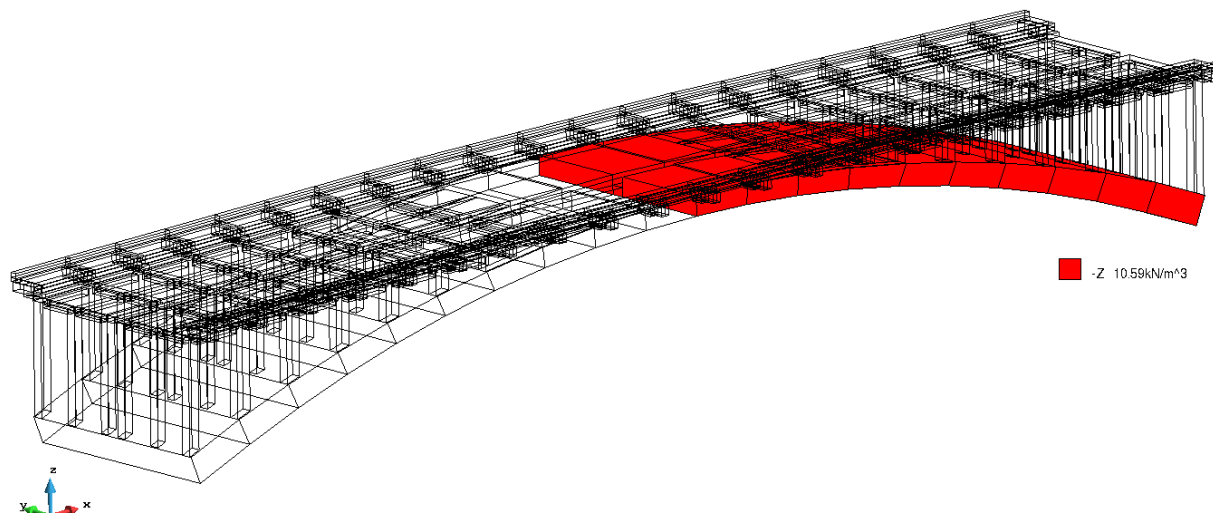
**Interval 3:** Smršťování oblouku 2, smršťování levé poloviny mostovky 1,

$$\varepsilon_{s,arc2} = -(\varepsilon_{s,arc}^{t=90} - \varepsilon_{s,arc}^{t=45}) = -0.000016, \quad \varepsilon_{s,L,deck1} = -\varepsilon_{s,L,deck}^{t=90} = -0.000118, \quad 40 \text{ kroků (Obr. 2-23)}$$



Obr. 2-23 Smrštění oblouku 2, smrštění levé poloviny mostovky 1

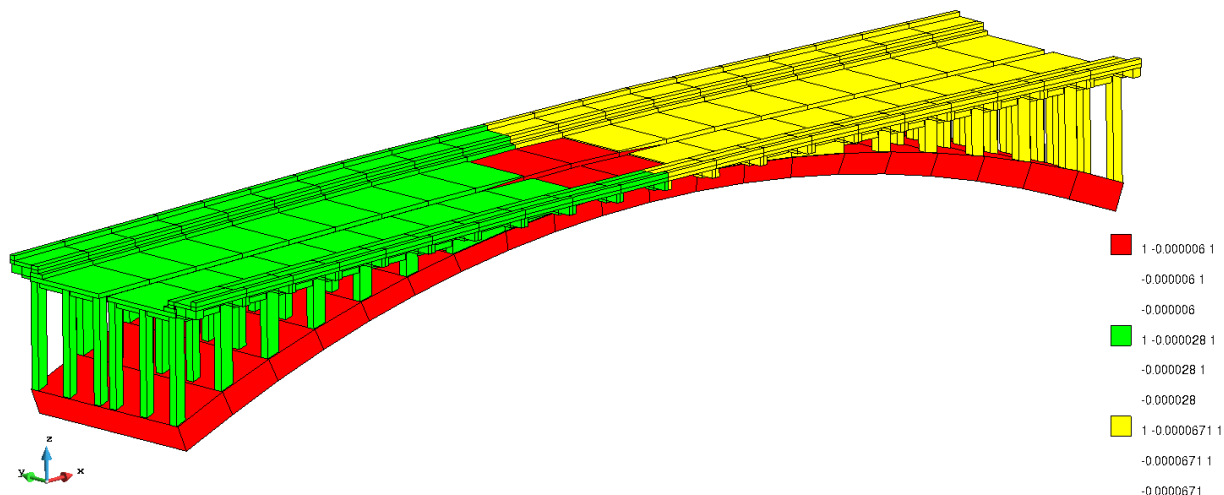
**Interval 4:** Zatížení pravé poloviny oblouku charakteristickou tíhou mostovky (jako interval 2), 5 kroků (Obr. 2-24)



Obr. 2-24 Ekvivalentní zatížení pravé poloviny oblouku tíhou mostovky

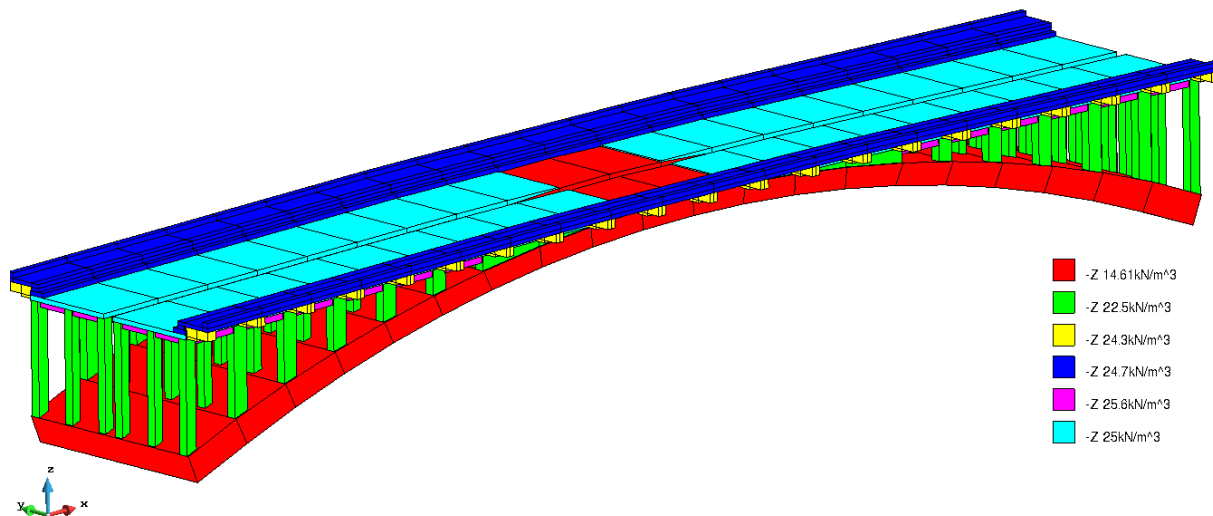
**Interval 5:** Smršťování oblouku 3, smršťování levé poloviny mostovky 2, smršťování pravé poloviny mostovky 1,  $\varepsilon_{s,arc3} = -(\varepsilon_{s,arc}^{t=110} - \varepsilon_{s,arc}^{t=90}) = -0.000006$ ,

$\varepsilon_{s,L,deck2} = -(\varepsilon_{s,L,deck}^{t=110} - \varepsilon_{s,L,deck}^{t=90}) = -0.000028$ ,  $\varepsilon_{s,R,deck1} = -\varepsilon_{s,R,deck}^{t=110} = -0.0000671$  20 kroků (Obr. 2-25)



Obr. 2-25 Smrštění oblouku 3, smrštění levé poloviny mostovky 2, smrštění pravé poloviny mostovky 1

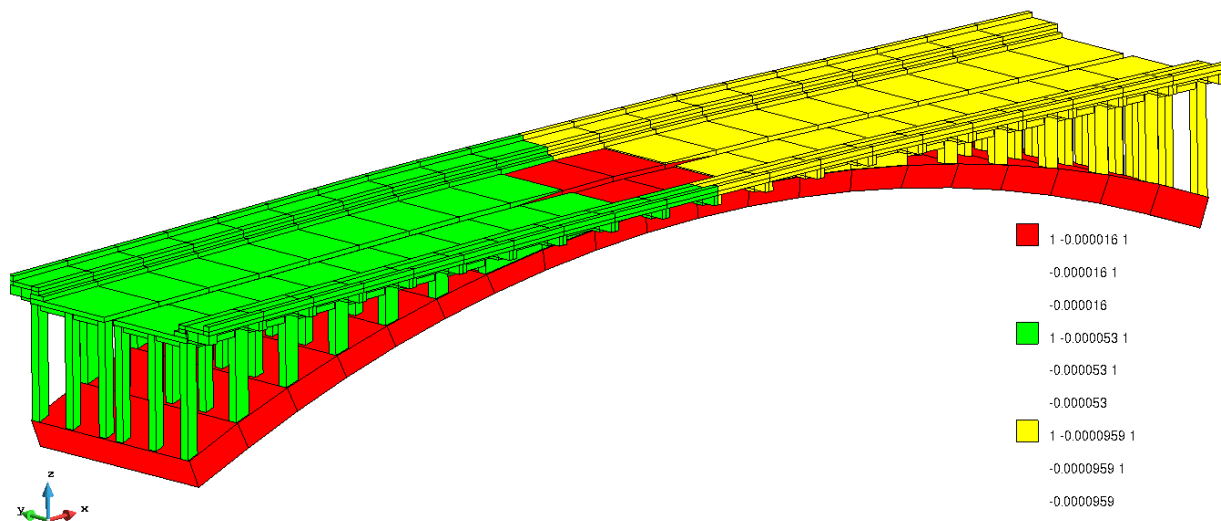
**Interval 6:** Vlastní charakteristická tíha mostovky (sloupky  $22.5 \text{ kN/m}^3$ , žebra  $25.6 \text{ kN/m}^3$ , deska  $25 \text{ kN/m}^3$ , deska chodníku  $24.7 \text{ kN/m}^3$ , konzoly chodníku  $24.3 \text{ kN/m}^3$ ), doplněk k charakteristické vlastní tíze oblouku  $14.61 \text{ kN/m}^3$  (oblouk již je zatížen objemovým zatížením  $10.59 \text{ kN/m}^3$  z intervalu 2  $\rightarrow 10.59 + 14.61 = 25.2 \text{ kN/m}^3$ ), 5 kroků (Obr. 2-26)



Obr. 2-26 VI. tíha mostovky a doplněk k vl. tíze oblouku

**Interval 7:** Smršťování oblouku 4, smršťování levé poloviny mostovky 3, smršťování pravé poloviny mostovky 2,  $\varepsilon_{s,arc4} = -(\varepsilon_{s,arc}^{t=170} - \varepsilon_{s,arc}^{t=110}) = -0.000016$ ,

$\varepsilon_{s,L,deck3} = -(\varepsilon_{s,L,deck}^{t=170} - \varepsilon_{s,L,deck}^{t=110}) = -0.000053$ ,  $\varepsilon_{s,R,deck2} = -(\varepsilon_{s,R,deck}^{t=170} - \varepsilon_{s,R,deck}^{t=110}) = -0.0000959$ , 40 kroků (Obr. 2-27)

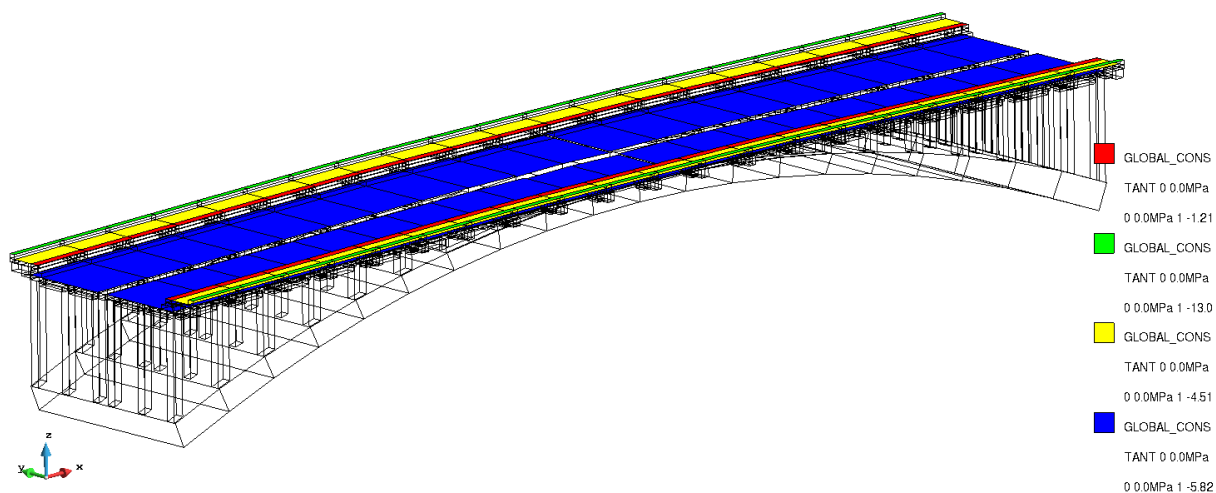


Obr. 2-27 Smršťění oblouku 4, smršťění levé poloviny mostovky 3, smršťění pravé poloviny mostovky 2

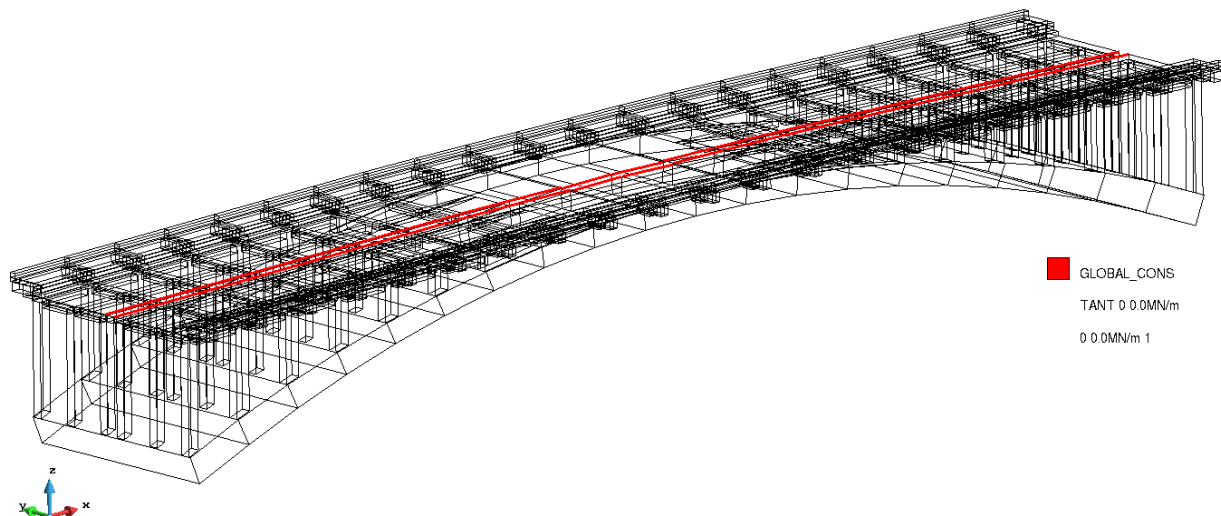
**Interval 8:** ostatní stálá zatížení – charakteristické hodnoty (Tab. 25 a Obr. 2-28, Obr. 2-29), 5 kroků

Tab. 25 Přehled ostatních stálých zatížení

Zatížení	Liniové [kN/m]	Zatěžovací šířka [m]	Plošné [kN/m <sup>2</sup> ]	Barva Obr. 2-28
Vozovka + přídavná bet. Deska	12.65+23.1=35.75	2x3.07=6.14	35.75/6.14=5.822	modrá
Chodník	3.48	0.77	4.52	žlutá
Obrubník	0.34	0.28	1.214	červená
Zábradlí	2.68	0.205	13.07	zelená
Vodovod	2x0.385=0.77	-	-	Obr. 2-29



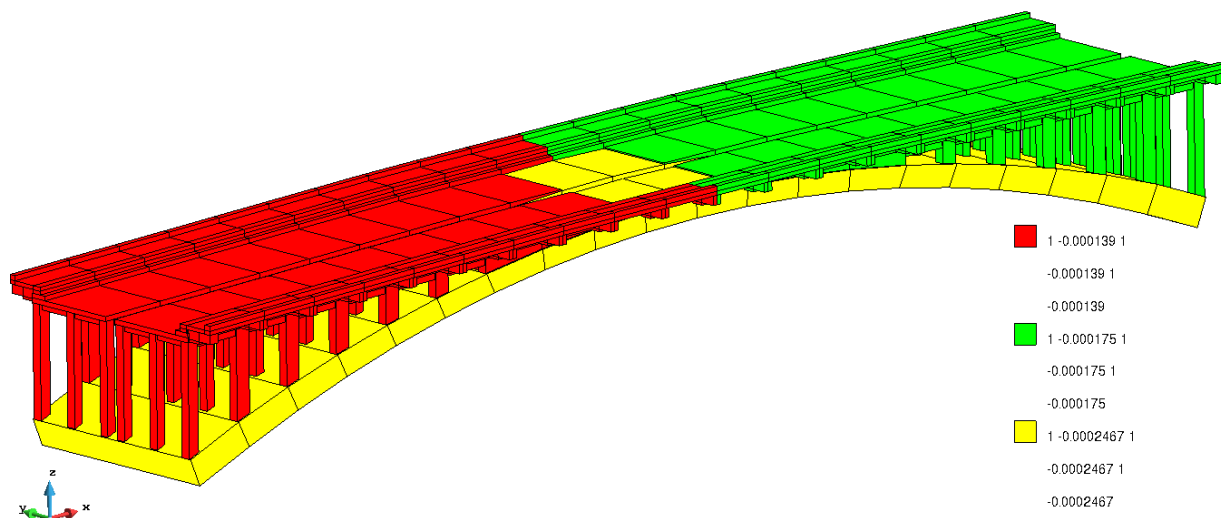
Obr. 2-28 Ostatní stálá zatížení - plošná



Obr. 2-29 Ostatní stálá zatížení - liniová

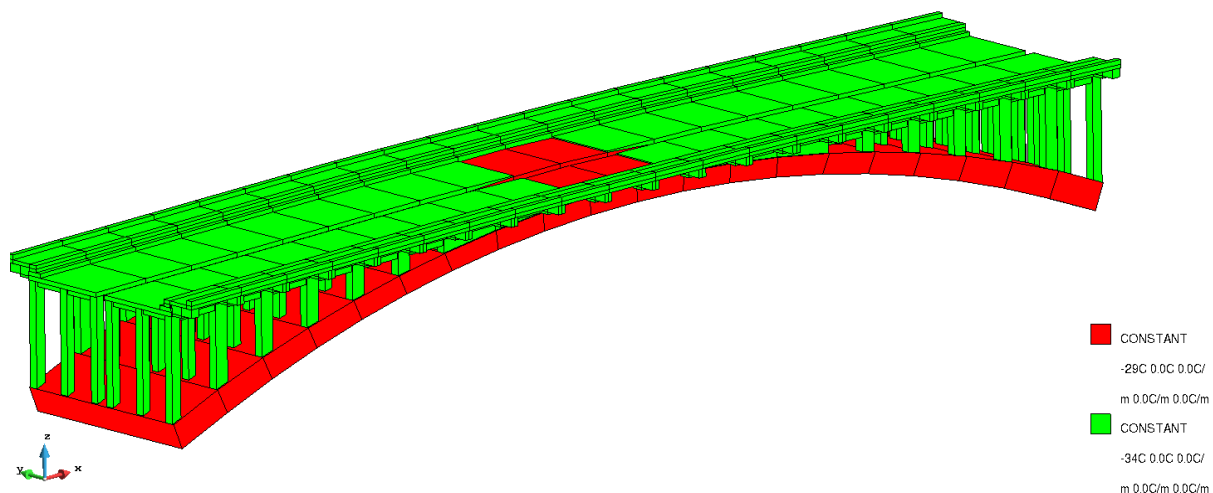
**Interval 9:** Smršťování oblouku 5, smršťování levé poloviny mostovky 4, smršťování pravé poloviny mostovky 3,  $\varepsilon_{s,arc5} = -(\varepsilon_{s,arc}^{t=\infty} - \varepsilon_{s,arc}^{t=170}) = -0.0002467$ ,

$\varepsilon_{s,L,deck4} = -(\varepsilon_{s,L,deck}^{t=\infty} - \varepsilon_{s,L,deck}^{t=170}) = -0.000139$ ,  $\varepsilon_{s,R,deck3} = -(\varepsilon_{s,R,deck}^{t=\infty} - \varepsilon_{s,R,deck}^{t=170}) = -0.000175$  30 kroků (Obr. 2-27)



Obr. 2-30 Smrštění oblouku 5, smrštění levé poloviny mostovky 4, smrštění pravé poloviny mostovky 3

**Interval 10:** Ochlazení konstrukce na charakteristickou hodnotu teplotního zatížení – oblouk o 29°C, mostovka o 34°C (Obr. 2-31), 100 kroků

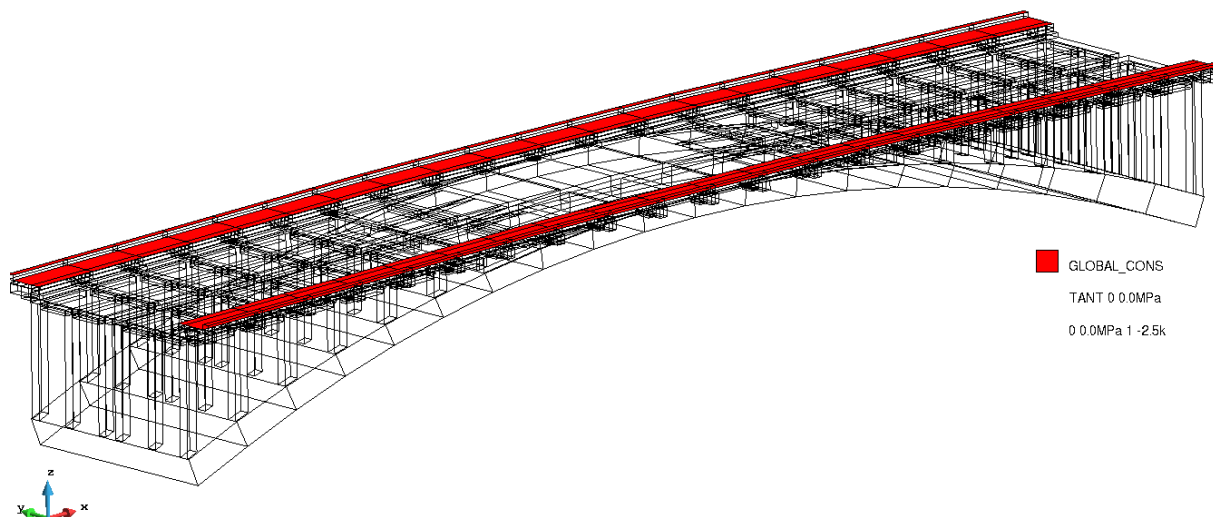


Obr. 2-31 Ochlazení oblouku o 29°C (červená) a mostovky o 34°C (zelená)

**Interval 11:** Přetížení všech stálých zatížení na návrhovou hodnotu – aplikace zatížení z intervalů 2, 4, 6 a 8 s násobitelem  $(\xi \cdot \gamma_G - 1) = 0.15$ , 5 kroků

**Interval 12:** Přídavek zatížení teplotou na návrhovou hodnotu – aplikace zatížení z intervalu 10 s násobitelem  $(\gamma_{Q,T} \cdot \psi_{0,T} - 1) = -0.1$  (v tomto případě mírné oteplení), 10 kroků

**Interval 13:** Návrhové zatížení chodníků  $w_{f,D} = \gamma_{Q,D} \cdot 2.5 = 3.375 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-32), 5 kroků



Obr. 2-32 Návrhové zatížení chodníků

### 2.3.6.2 Varianty rozmístění zatížení dopravou

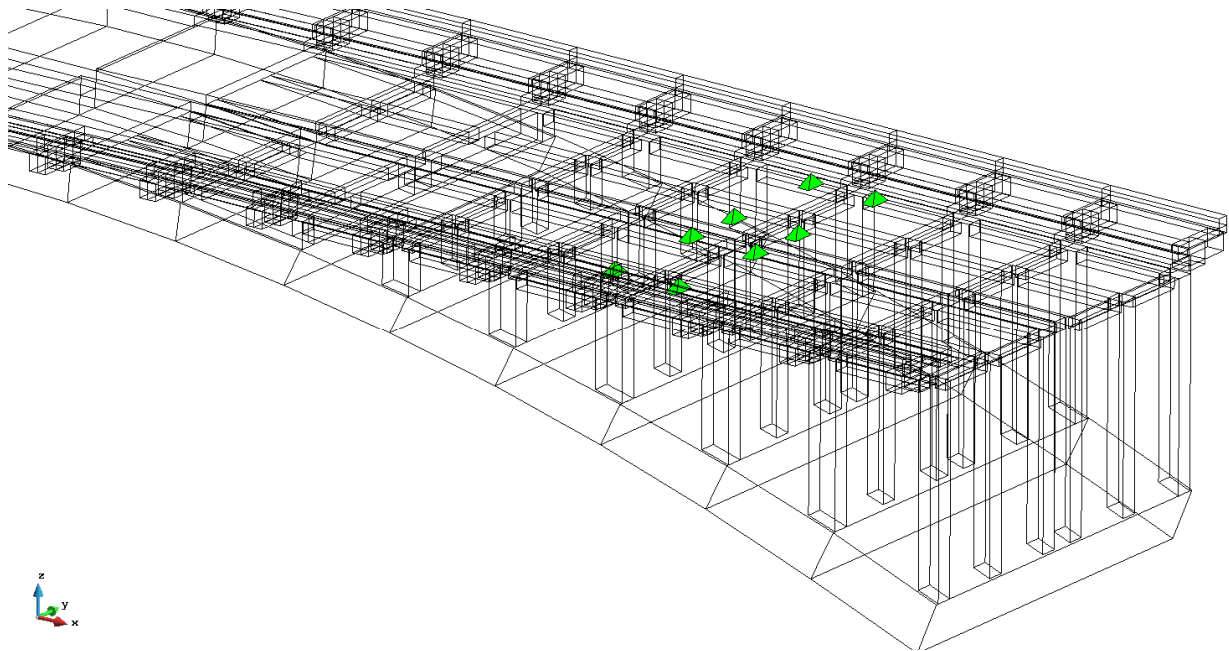
**Interval 14:** Zatížení návrhovým zatížením dopravou, liší se pro každou z osmi variant (viz. dále), 20 kroků

**Interval 15:** Zatížení z intervalu 14 se dále zvyšuje až do porušení konstrukce, ? kroků

**a) Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku**

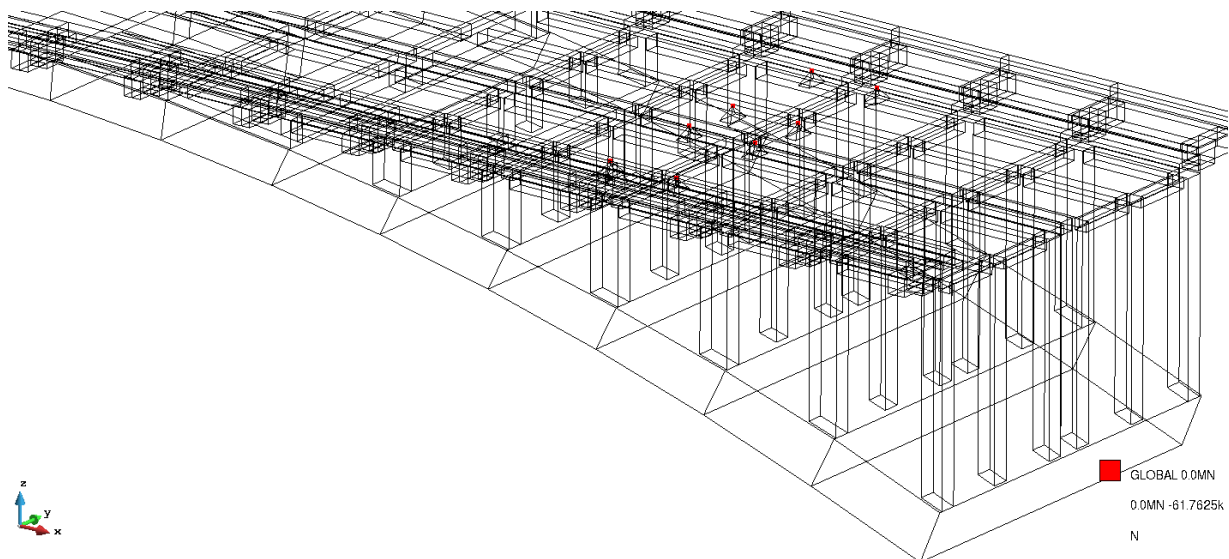
Třínápravové vozidlo v každém pruhu, těžiště dvou zadních náprav 6m od podpory (Obr. 2-33)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 61.76 \text{ kN}$  (Obr. 2-34)
- plošné zatížení na polovině mostu  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 3.75 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 6.176 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-35)

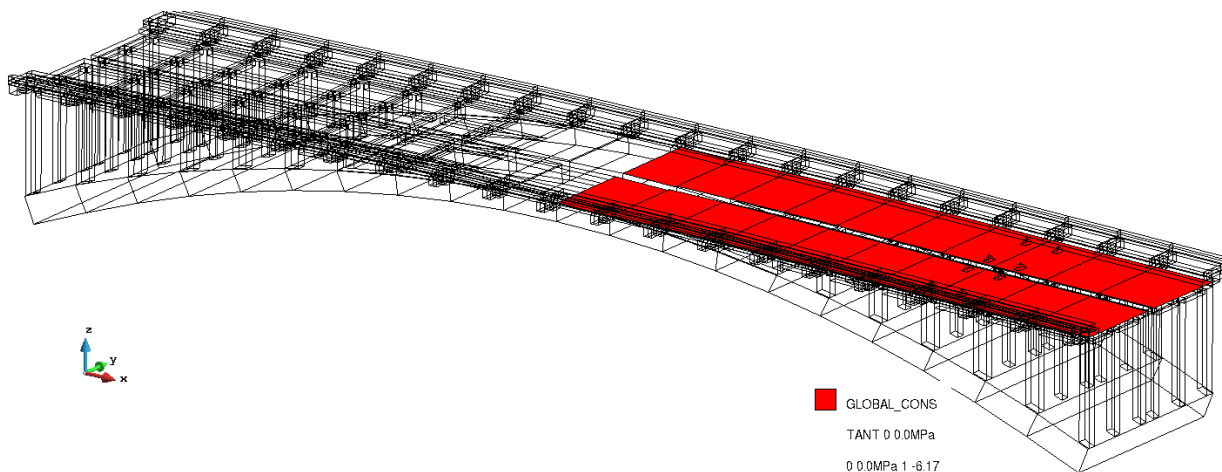


Obr. 2-33 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – umístění zadních náprav





Obr. 2-34 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – zatížení od zadních náprav

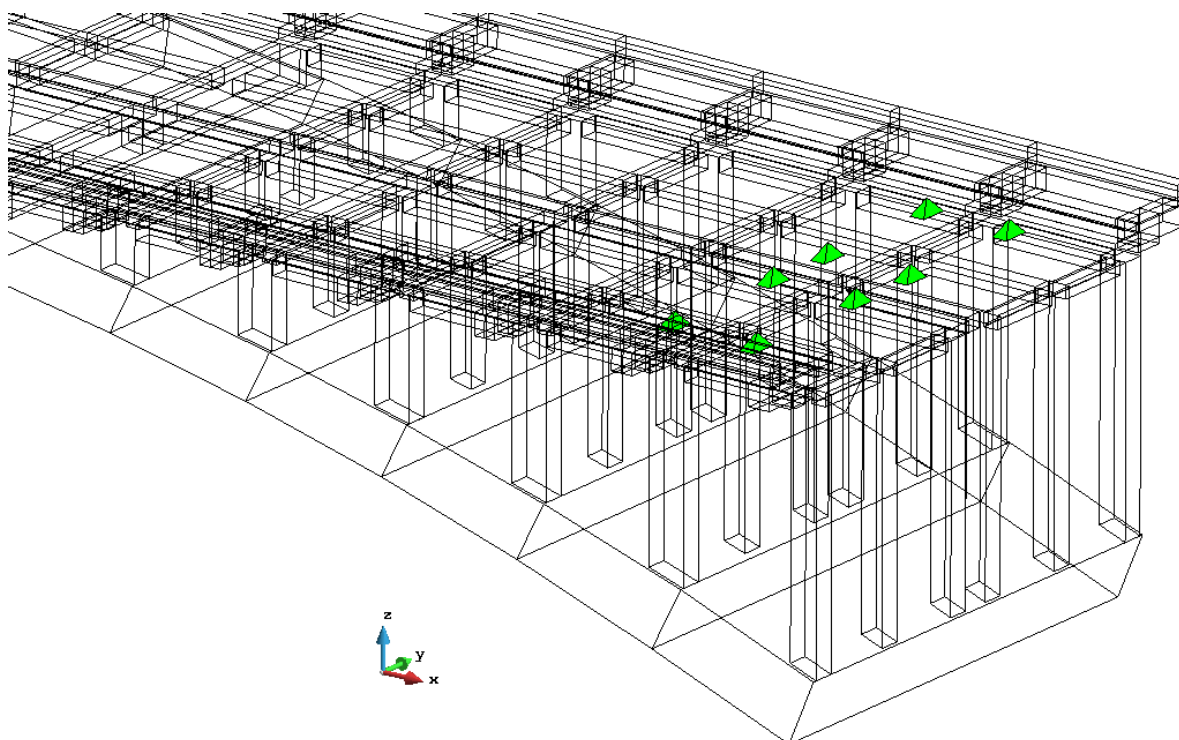


Obr. 2-35 Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – plošné zatížení

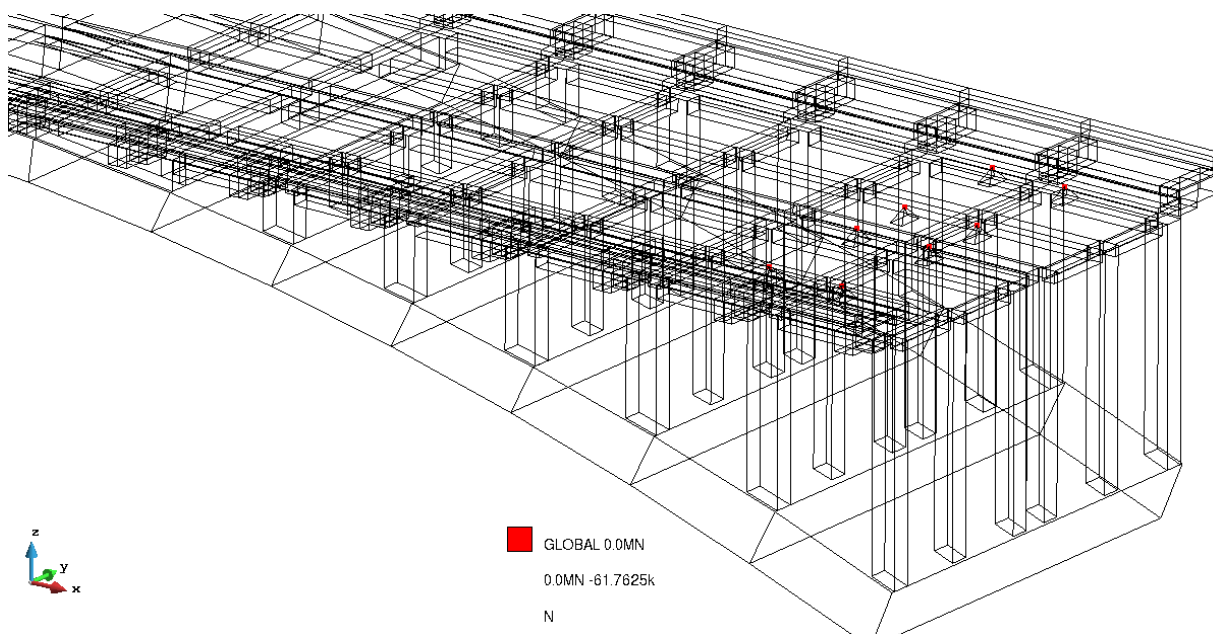
### b) Normální zatížitelnost – kritická pro stojky

Třínápravové vozidlo v každém pruhu, těžiště dvou zadních náprav 2m od podpory (Obr. 2-36)

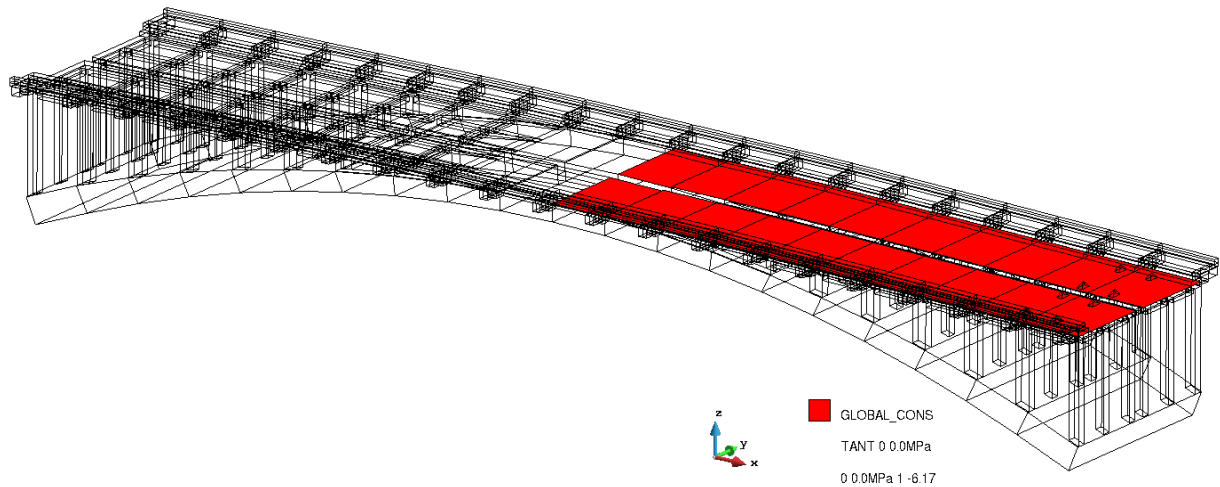
- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 61.76 \text{ kN}$  (Obr. 2-37)
- plošné zatížení na polovině mostu  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 3.75 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 6.176 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-38)



Obr. 2-36 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – umístění zadních náprav



Obr. 2-37 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – zatížení od zadních náprav

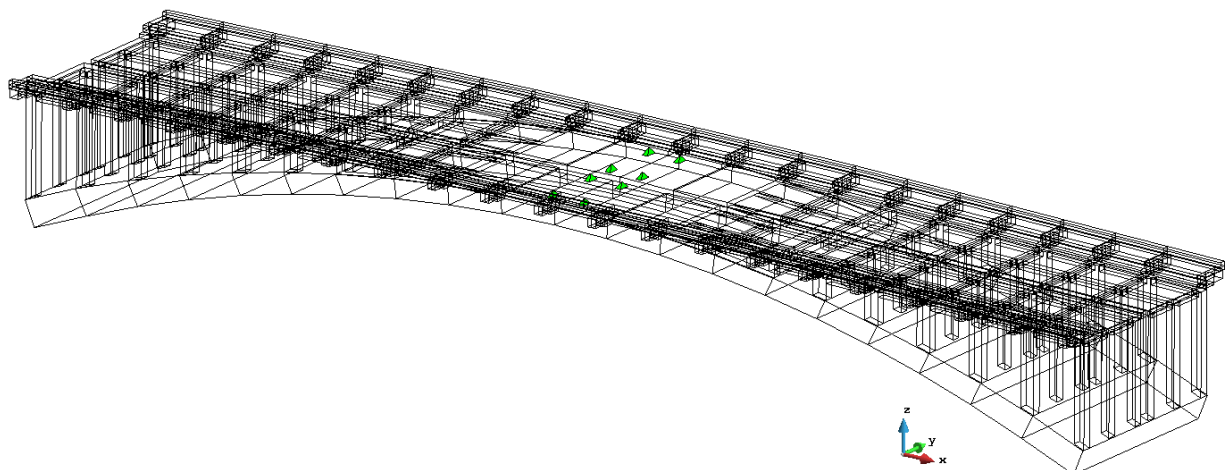


Obr. 2-38 Normální zatížitelnost – kritická pro stojky – plošné zatížení

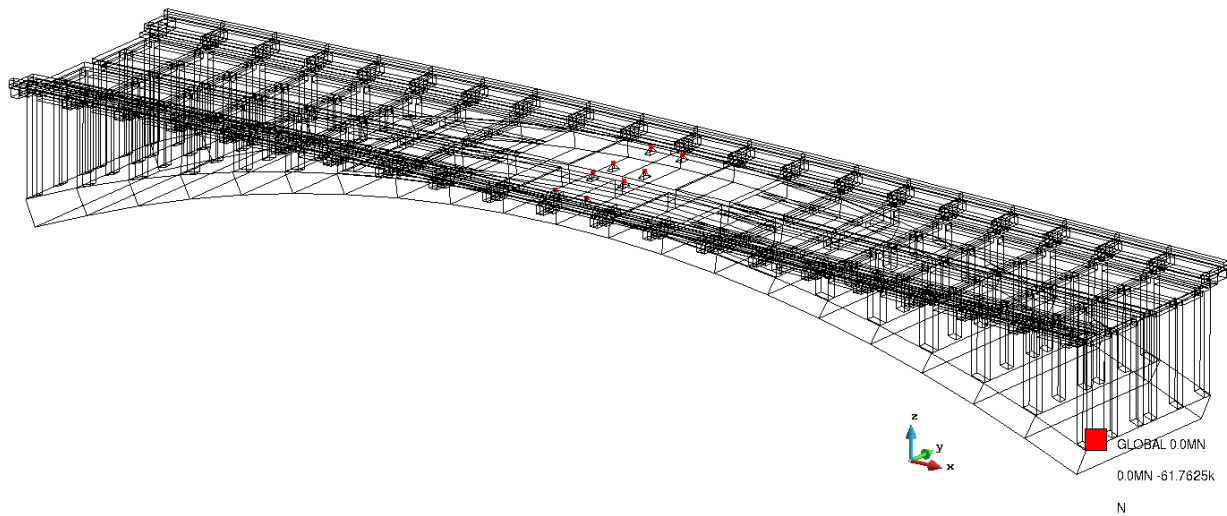
**c) Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku**

Třínápravové vozidlo v každém pruhu, těžiště dvou zadních náprav uprostřed mostu (Obr. 2-39)

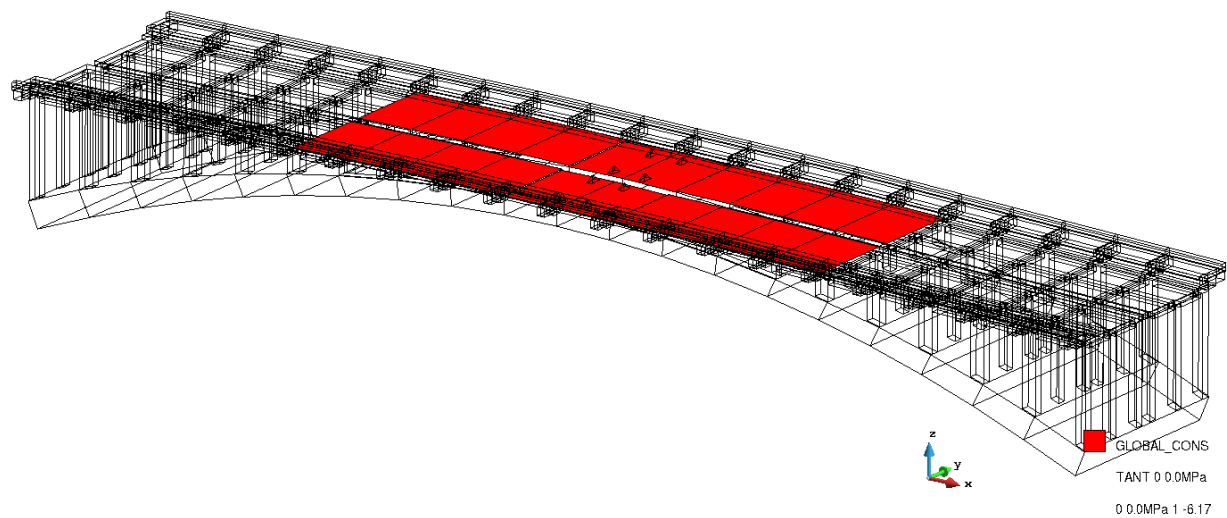
- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 61.76 \text{ kN}$  (Obr. 2-40)
- plošné zatížení 10 m na každou stranu od středu mostu  
 $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 3.75 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 6.176 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-41)



Obr. 2-39 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění zadních náprav



Obr. 2-40 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od zadních náprav

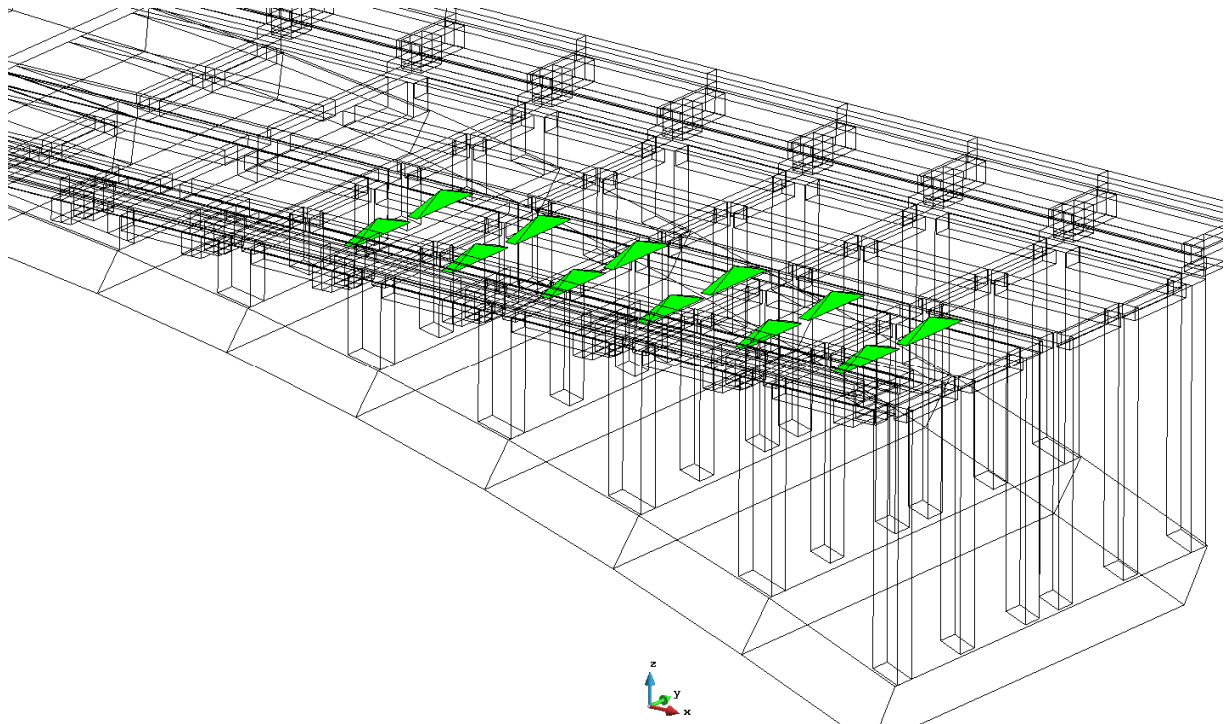


Obr. 2-41 Normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – plošné zatížení

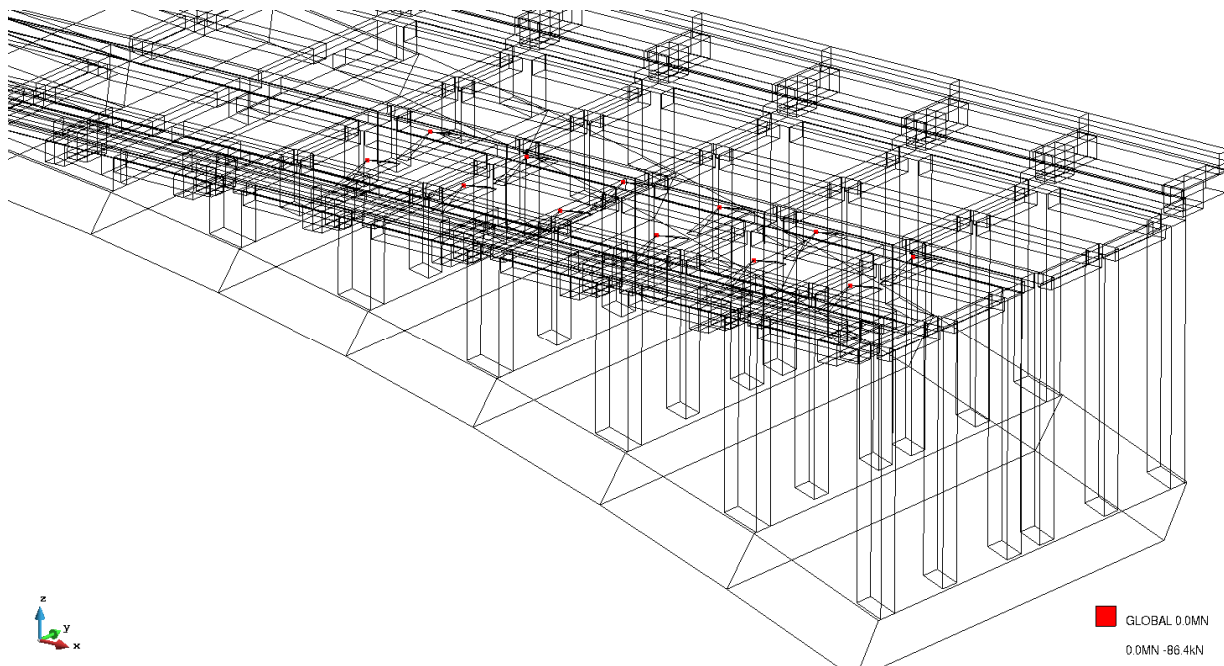
#### d) Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku

Šestinápravové vozidlo v jednom pruhu, těžiště náprav 5.05 m od podpory (Obr. 2-42)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.28 \cdot 50 = 86.4 \text{ kN}$  (Obr. 2-43)



Obr. 2-42 Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – umístění náprav



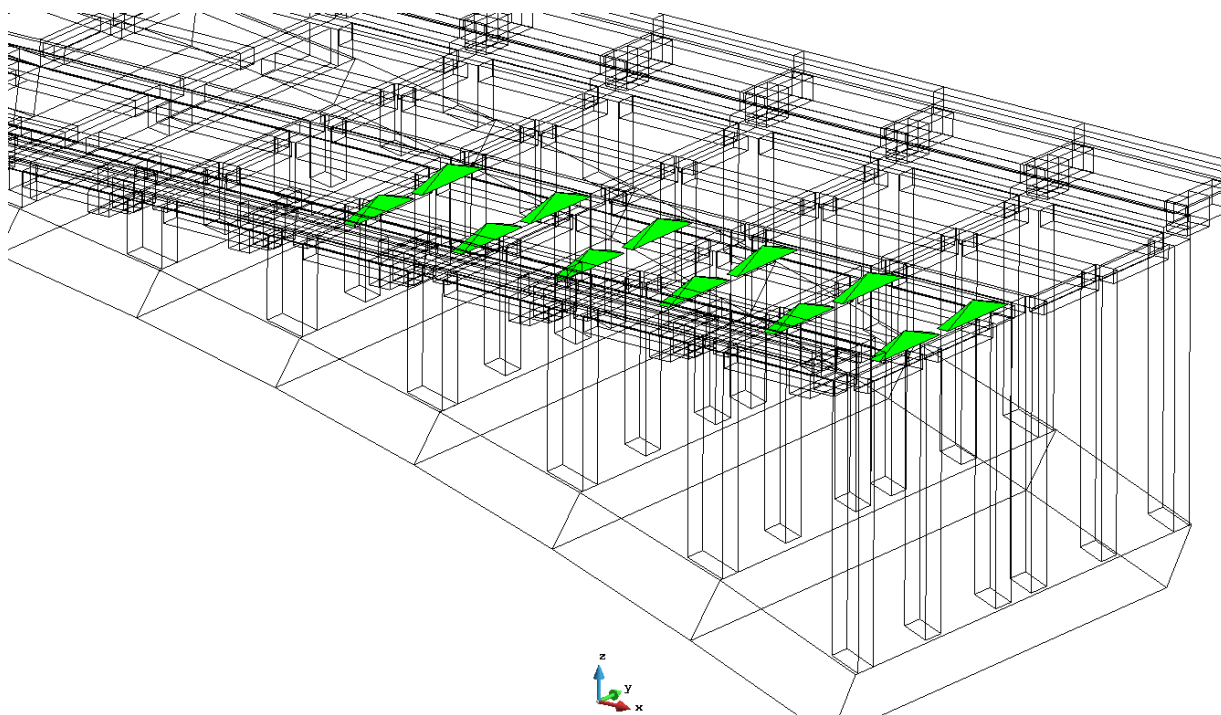
Obr. 2-43 Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku – zatížení od náprav

**e) Výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky**

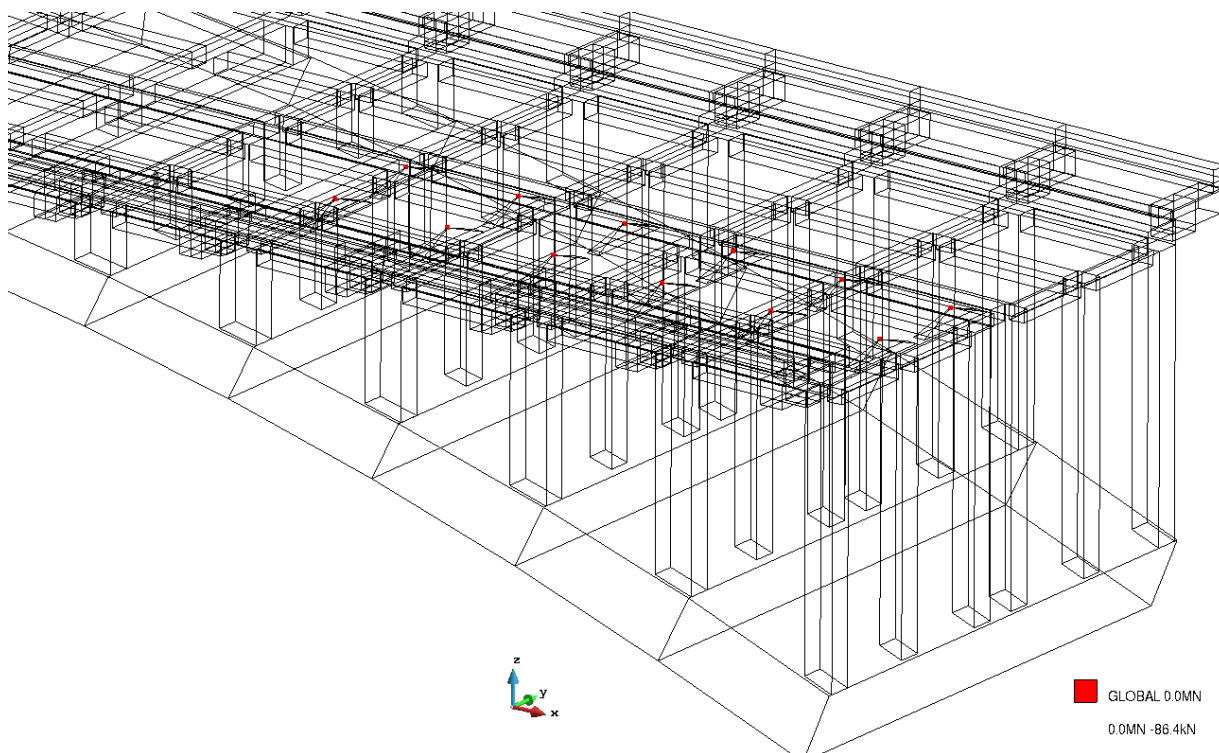
Šestinápravové vozidlo v jednom pruhu, těžiště náprav 3.91 m od podpory (Obr. 2-44)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.28 \cdot 50 = 86.4 \text{ kN}$  (Obr. 2-45)





Obr. 2-44 Výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky – umístění náprav

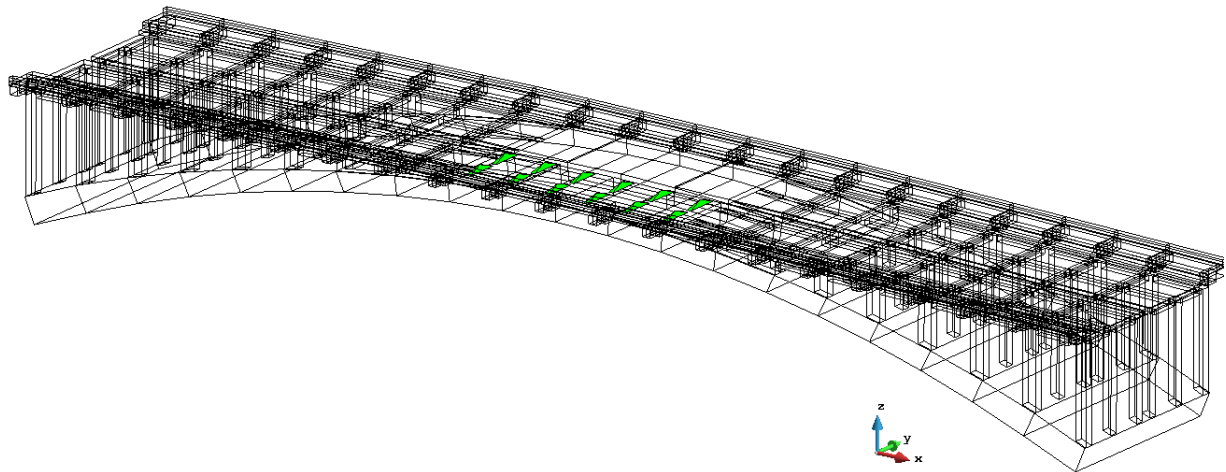


Obr. 2-45 Výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky – zatížení od náprav

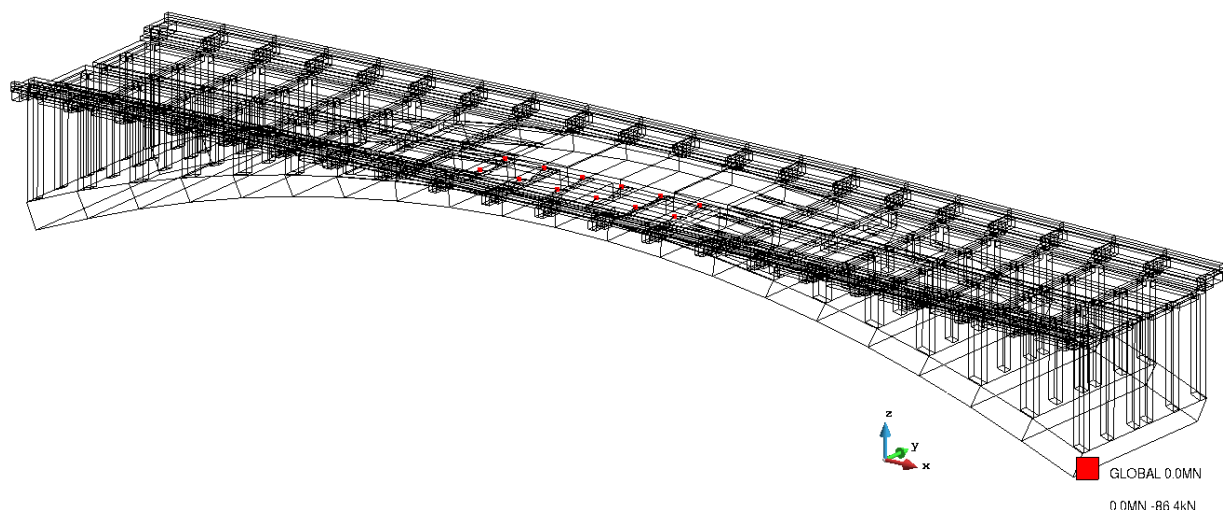
**f) Výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku**

Šestinápravové vozidlo v jednom pruhu, těžiště náprav uprostřed oblouku (Obr. 2-46)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.28 \cdot 50 = 86.4 \text{ kN}$  (Obr. 2-47)



Obr. 2-46 Výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění náprav

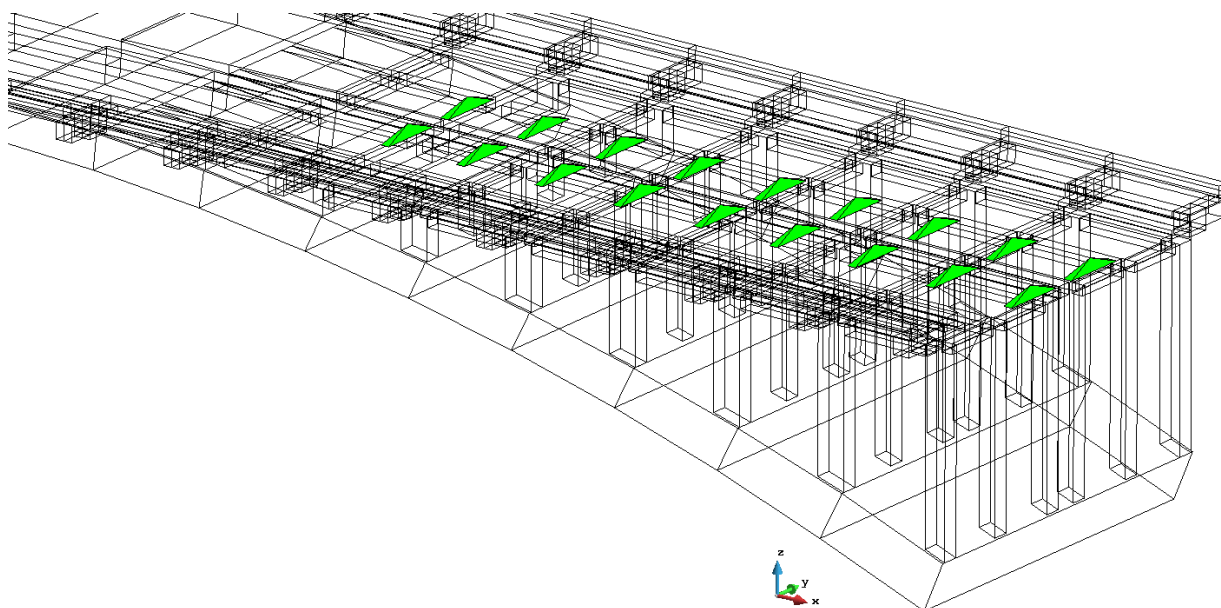


Obr. 2-47 Výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od náprav

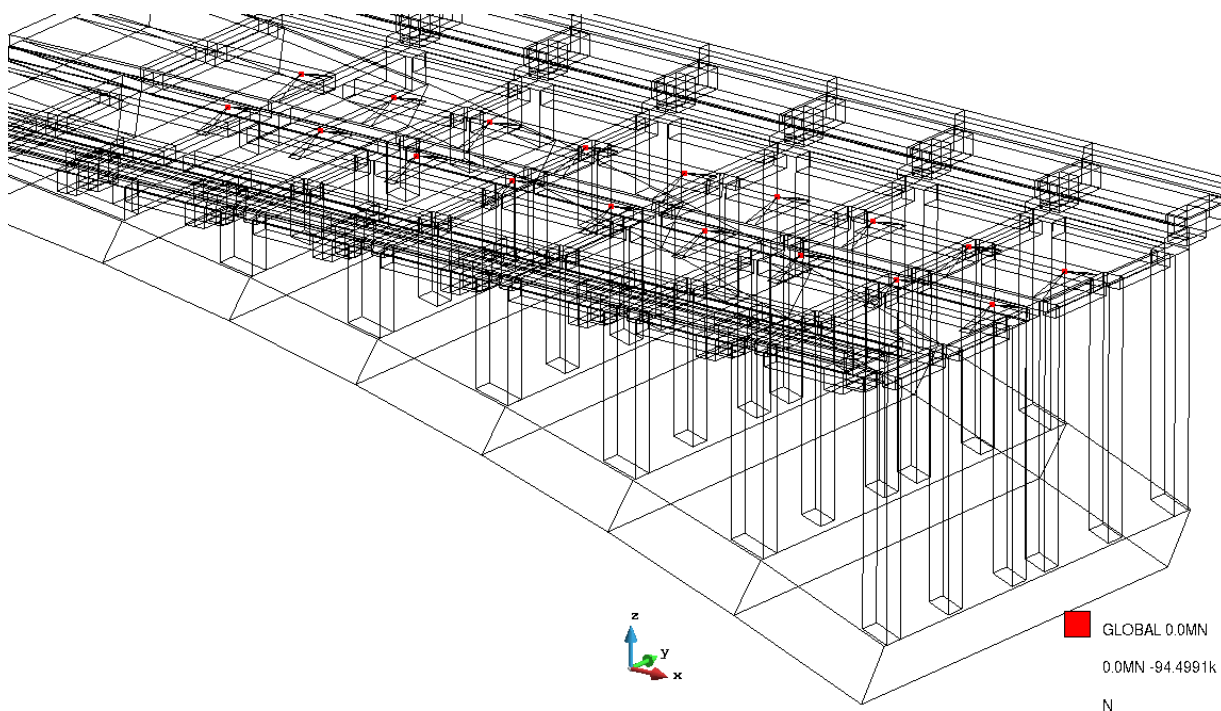
**g) Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky**

Devítinápravové vozidlo v ideální stopě (v ose mostu), těžiště náprav 6.16 m od podpory (Obr. 2-48)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.05 \cdot 66.66 = 94.5 \text{ kN}$  (Obr. 2-49)



Obr. 2-48 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky – umístění náprav



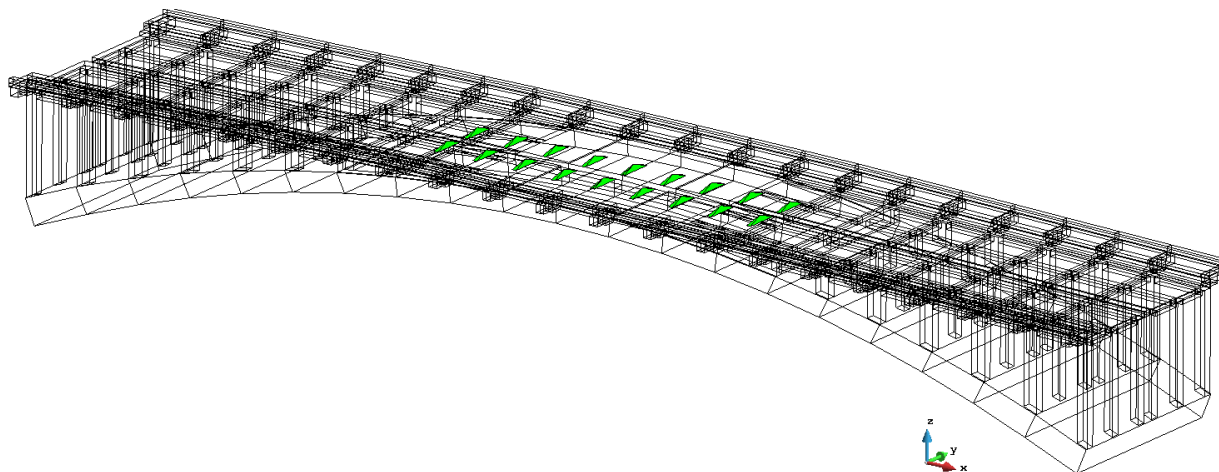
Obr. 2-49 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky – zatížení od náprav

**h) Výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku**

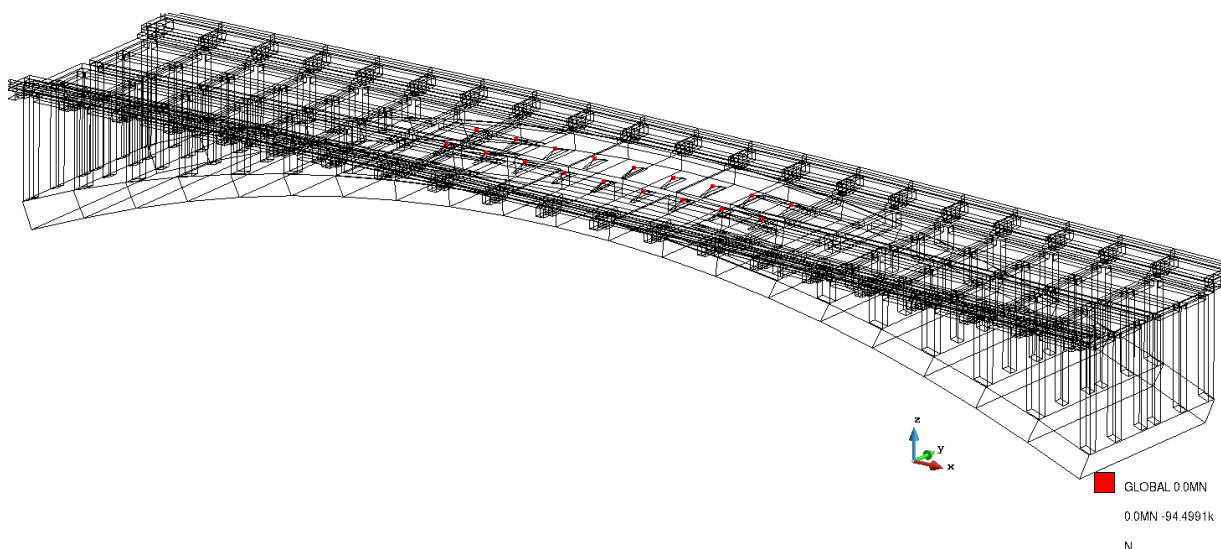


Devítnápravové vozidlo v ideální stopě (v ose mostu), těžiště náprav uprostřed oblouku (Obr. 2-50)

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.05 \cdot 66.66 = 94.5 \text{ kN}$  (Obr. 2-51)



Obr. 2-50 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – umístění náprav



Obr. 2-51 Výjimečná zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku – zatížení od náprav

### 2.3.7 MSP - Zatěžovací intervaly

Postup zatěžování na **CHARAKTERISTICKOU** kombinaci (kapitola 2.3.1) je proveden tak, aby v průběhu zatěžování konstrukce prošla také přesně předepsanou **KVAZISTÁLOU** kombinací (kapitola 2.3.1). **Interval 1 – Interval 9** jsou totožné s výpočty MSÚ (kapitola 2.3.6). Následuje ochlazení konstrukce na úroveň odpovídající kvazistálé kombinaci  $0.5 \cdot T$  (**Interval 10**). Poté se konstrukce ještě ochladí na úroveň

odpovídající charakteristické kombinaci  $0.6 \cdot T$  (**Interval 11**) a přidá se zatížení chodníků (**Interval 12**).

Až do této fáze je postup zatěžování identický pro všechny tři varianty výpočtu MSP (i)-(k). V následujícím intervalu (**Interval 13**) je konstrukce zatížena na **charakteristickou** hodnotu maximální zatížitelnosti dopravním zatížením, které bylo dosaženo pomocí odpovídajících variant výpočtu MSÚ (viz. kapitola 3).

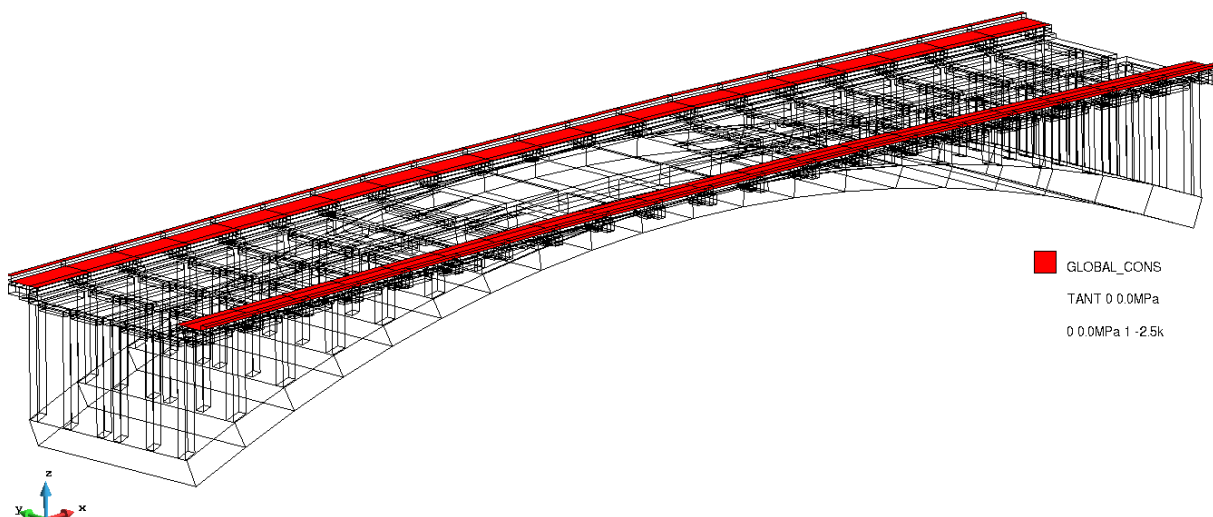
### 2.3.7.1 Společné zatěžovací intervaly

Detailní popis zatížení v jednotlivých intervalech společných pro všechny varianty výpočtu je následující:

**Interval 10:** Ochlazení konstrukce na úroveň kvazistálé kombinace MSP – oblouk o  $29^{\circ}\text{C}$ , mostovka o  $34^{\circ}\text{C}$  (Obr. 2-31), násobitel intervalu 0.5, 50 kroků

**Interval 11:** Přídavek zatížení teplotou na úroveň charakteristické kombinace MSP – aplikace zatížení z intervalu 10 s násobitelem 0.1, 10 kroků

**Interval 12:** Charakteristické zatížení chodníků  $w_f = 2.5 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-52), 5 kroků



Obr. 2-52 Charakteristické zatížení chodníků

### 2.3.7.2 Varianty rozmístění zatížení dopravou

**Interval 14:** Zatížení na maximální **CHARAKTERISTICKOU** zatížitelnost dopravou dosaženou ve výpočtech MSÚ, použije se zatěžovací interval 14 z kapitoly 2.3.6.2 s příslušným násobitelem, 20 kroků

#### i) Normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku

Třínápravové vozidlo v každém pruhu, těžiště dvou zadních náprav 6m od podpory (Obr. 2-33). Zatížení je původně zadané pro MSÚ ve formě

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 61.76 \text{ kN}$  (Obr. 2-34)

- plošné zatížení na polovině mostu  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 3.75 = 1.35 \cdot 1.22 \cdot 37.5 = 6.176 \text{ kN/m}^2$  (Obr. 2-35)

Při použití jednotkového násobitele intervalu takto zadané zatížení odpovídá **návrhové normální** zatížitelnosti 20t (kapitola 2.3.5.2). Maximální dosažená **návrhová** normální zatížitelnost pro tuto rozhodující variantu je 28.35t (kapitola 3), což odpovídá násobiteli intervalu  $28.35/20=1.4175$ . Abychom tedy konstrukci zatížili na **charakteristickou** hodnotu maximální dosažené zatížitelnosti, je nutné použít násobitel tohoto intervalu s hodnotou  $\frac{1.4175}{\gamma_{Q,D}} = \frac{1.4175}{1.35} = 1.05$ .

#### j) Výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku

Šestinápravové vozidlo v jednom pruhu, těžiště náprav 5.05 m od podpory (Obr. 2-42). Zatížení je původně zadané pro MSÚ ve formě

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.28 \cdot 50 = 86.4 \text{ kN}$  (Obr. 2-43)

Při použití jednotkového násobitele intervalu takto zadané zatížení odpovídá **návrhové** výhradní zatížitelnosti 60t (kapitola 2.3.5.2). Maximální dosažená **návrhová** výhradní zatížitelnost pro tuto rozhodující variantu je 67.47t (kapitola 3), což odpovídá násobiteli intervalu  $67.47/60=1.1245$ . Abychom tedy konstrukci zatížili na **charakteristickou** hodnotu maximální dosažené zatížitelnosti, je nutné použít násobitel tohoto intervalu s hodnotou  $\frac{1.1245}{\gamma_{Q,D}} = \frac{1.1245}{1.35} = 0.833$ .

#### k) Výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky

Devitinápravové vozidlo v ideální stopě (v ose mostu), těžiště náprav 6.16 m od podpory (Obr. 2-48). Zatížení je původně zadané pro MSÚ ve formě

- síla od každého kola  $\gamma_{Q,D} \cdot \delta \cdot 37.5 = 1.35 \cdot 1.05 \cdot 66.66 = 94.5 \text{ kN}$  (Obr. 2-49)

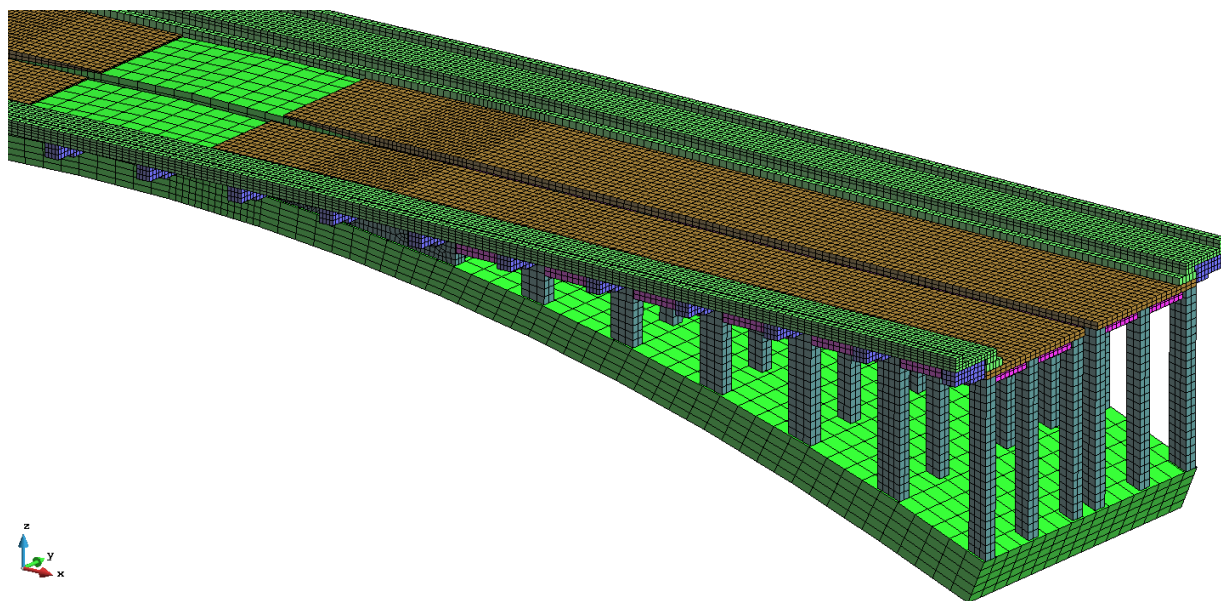
Při použití jednotkového násobitele intervalu takto zadané zatížení odpovídá **návrhové** výjimečné zatížitelnosti 60t (kapitola 2.3.5.2). Maximální dosažená **návrhová** výjimečná zatížitelnost pro tuto rozhodující variantu je 126.86t (kapitola 3), což odpovídá násobiteli intervalu  $126.86/60=1.057$ . Abychom tedy konstrukci zatížili na **charakteristickou** hodnotu maximální dosažené zatížitelnosti, je nutné použít násobitel tohoto intervalu s hodnotou  $\frac{1.057}{\gamma_{Q,D}} = \frac{1.057}{1.35} = 0.783$ .

## 2.4 Síť konečných prvků

Na Obr. 2-53 je zobrazena síť konečných prvků použitá pro všechny popsané varianty výpočtu. Přibližné rozměry a tvary prvků základních částí konstrukce jsou sepsány v Tab. 26. Všechny prvky používají lineární básové funkce.

Tab. 26 Přibližné rozměry a tvary prvků jednotlivých částí konstrukce

Část konstrukce	Rozměr XxYxZ [mm]	Tvar
oblouk	400x400x200	šestistěn
sloupky	133x133x150	šestistěn
žebra podélná	130x130x100	šestistěn
žebra příčná	100x135x89	šestistěn
deska	145x150x75	šestistěn
konzoly chodníku	75x100x100	šestistěn
deska chodníku	145x96x60	šestistěn



Obr. 2-53 Síť konečných prvků

### 3 Výsledky

#### 3.1 MSÚ

Každý z představených numerických modelů byl nejprve zatížen na úroveň základní předpokládané zatížitelnosti (20 t pro normální, 60 t pro výhradní a 120 t pro výjimečnou). V této fázi bylo zatěžování realizováno v postupných přírůstcích metodou Newton-Raphson, která umožňuje přesně definovat hodnotu přírůstku zatížení v každém ze zatěžovacích kroků (podrobněji viz [1]). Poté byly modely přetěžovány s cílem dosáhnout porušení konstrukce, což je provedeno pomocí metody Arc-Length (podrobněji viz [1]).

Jedním z hlavních výsledků výpočtu je graf závislosti celkového součtu svislých reakcí na maximálním průhybu spodní plochy oblouku, dále jen L-D diagram. V tomto grafu je vždy znázorněna úroveň základní předpokládané (referenční) zatížitelnosti, a dále pak úroveň zatížitelnosti, při které je dosaženo selhání konstrukce. Tato hodnota byla vyhodnocena jako únosnost konstrukce v MSÚ.

Závěrečná část grafu, která se týká zatěžování dopravou a následně přetěžování až do porušení konstrukce, je rovněž znázorněna v dalším samostatném grafu, kde je svislá osa přepočítána přímo na hodnotu zatížitelnosti.

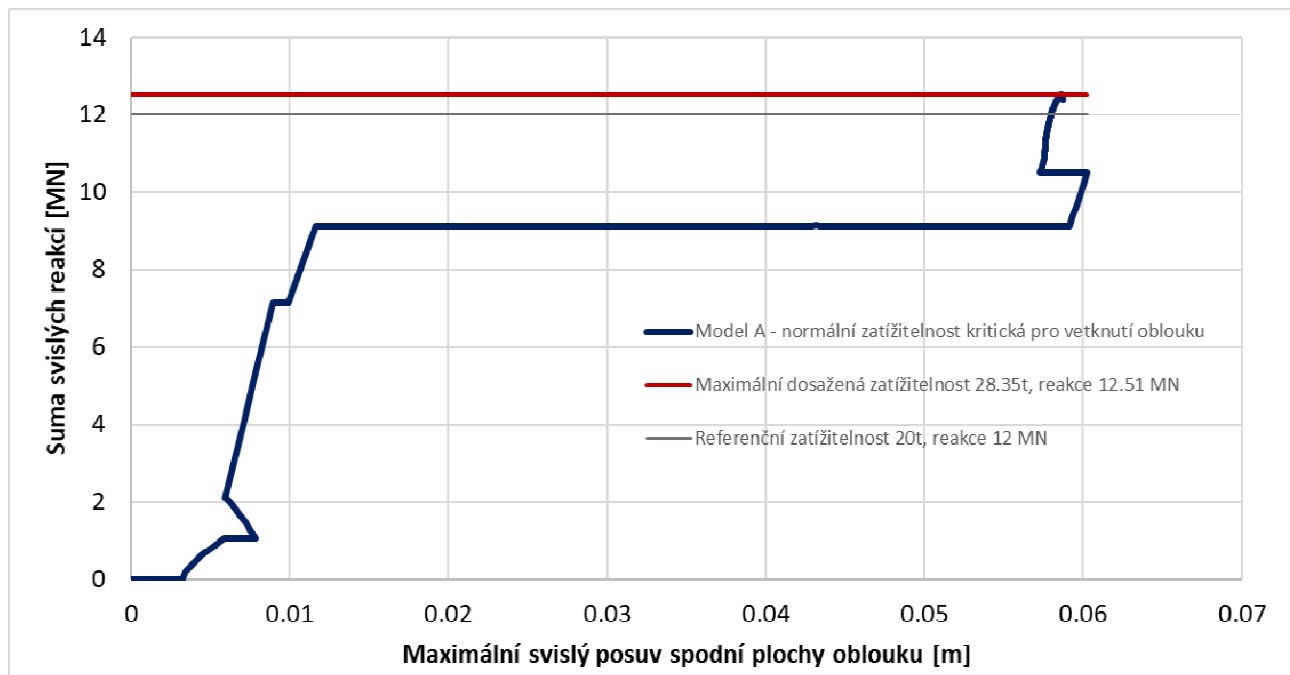
Dále jsou pro každou řešenou variantu uvedeny vybrané grafické výstupy stavu konstrukce pro základní předpokládané (referenční) zatížitelnosti i pro konečné zatížitelnosti, a to zejména deformovaný tvar konstrukce, hlavní tlaková napětí v betonu, napětí ve výztuži, hlavní tlaková přetvoření v betonu a šířka trhlin v betonu. Šířka trhlin je v případě výpočtu MSÚ pouze doplňkovým výsledkem (návrhové hodnoty materiálových parametrů vedou k podstatně větším trhlinám než by odpovídalo skutečnosti).

##### 3.1.1 Model A – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku

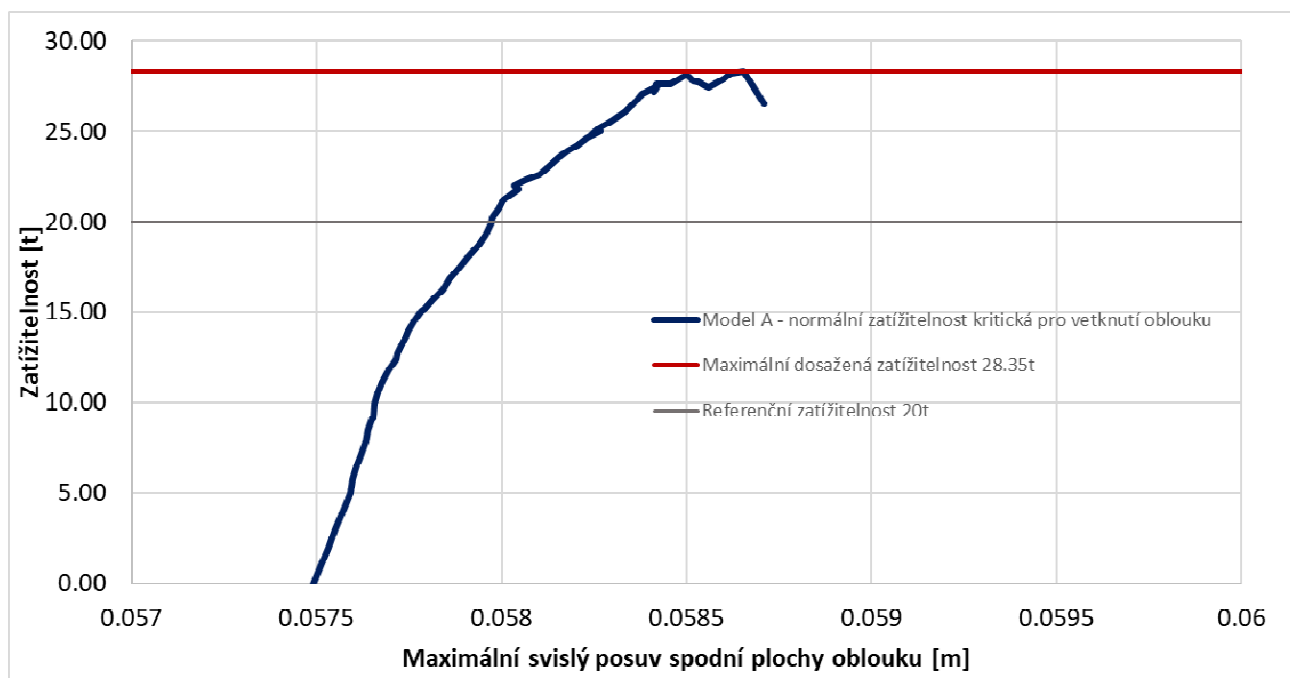
Na Obr. 3-1 je znázorněn L-D diagram pro model A, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-2). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 28.35 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.1.1 jsou uvedeny výše zmíněné grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 20t (Obr. 3-3 - Obr. 3-12).

V kapitole 3.1.1.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-13 - Obr. 3-20). Dle předpokladů z lineárního výpočtu se jedná o tlakové porušení v oblasti pravého vetknutí oblouku. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-13).

Hlavní tlaková napětí (Obr. 3-14 - Obr. 3-15) dosahují v oblasti pravého vetknutí oblouku hodnot pevnosti betonu v tlaku (14.8 MPa pro oblouk) a hlavní tlaková poměrná přetvoření (Obr. 3-17 - Obr. 3-18) v tomto místě již dosahují hodnot, při kterých je beton považován za rozdrcený (0.0035). Naopak nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-16) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



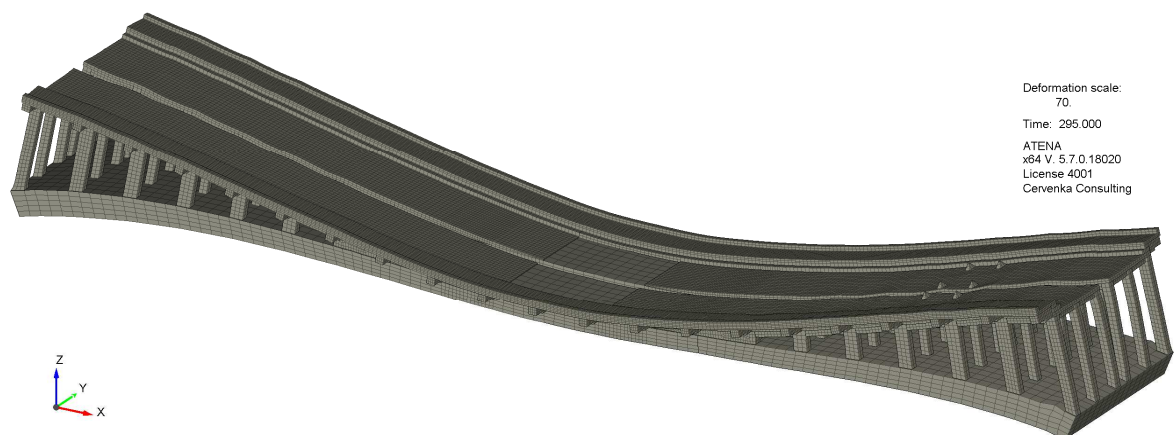
Obr. 3-1 L-D diagram, model A – normální zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku



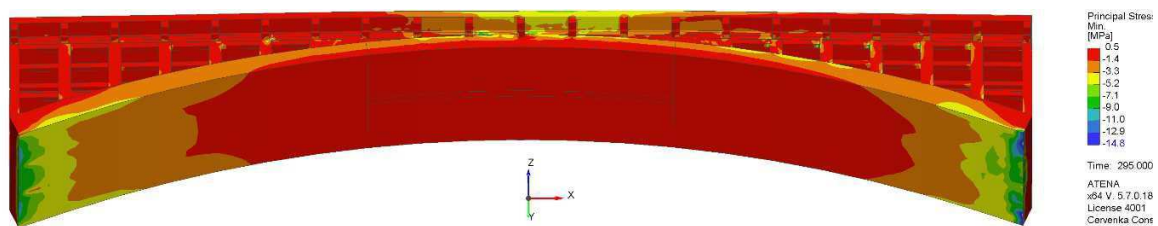
Obr. 3-2 Zatížitelnost, model A – normální zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku



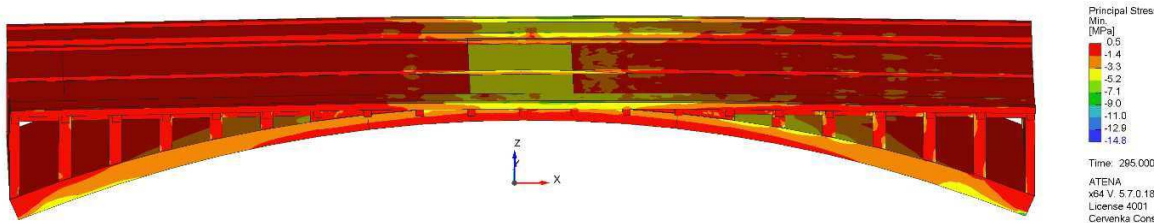
### 3.1.1.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t



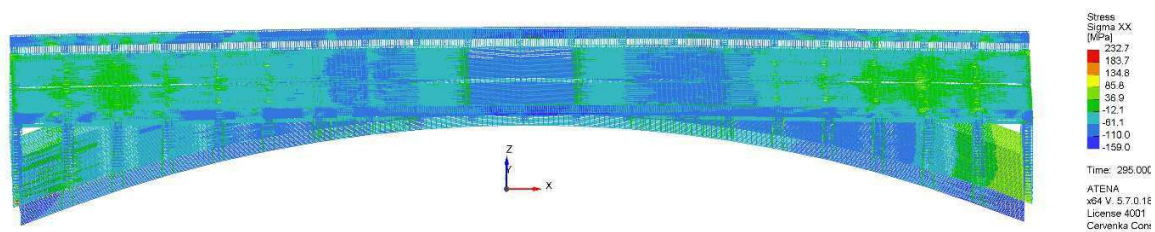
Obr. 3-3 Deformovaný tvar pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku



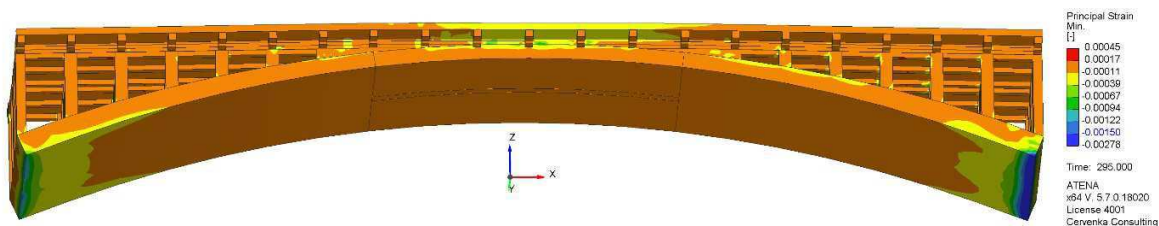
Obr. 3-4 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



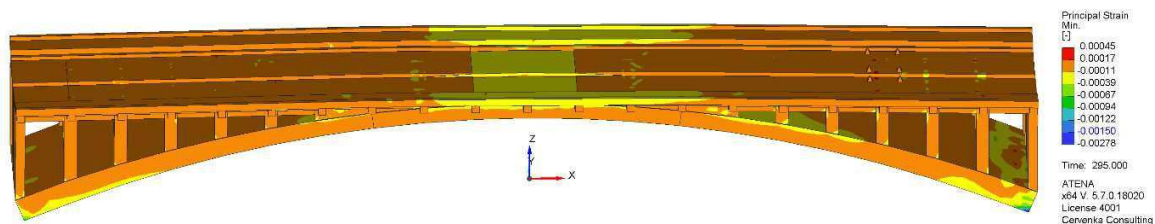
Obr. 3-5 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



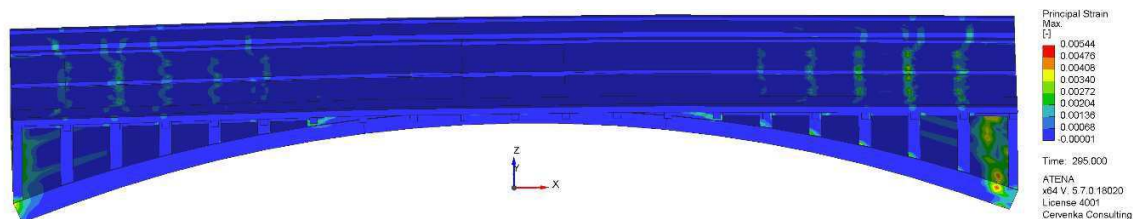
Obr. 3-6 Napětí ve výztuži pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku



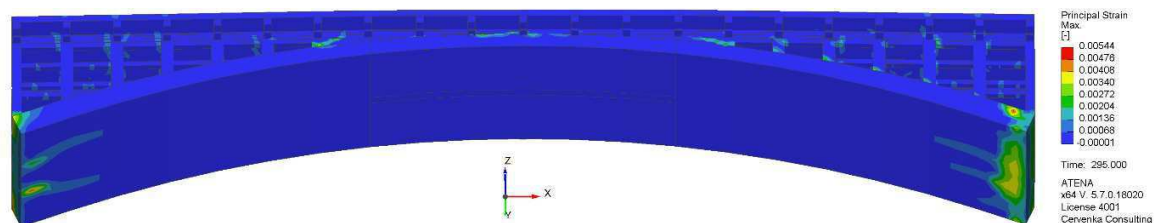
Obr. 3-7 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-8 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

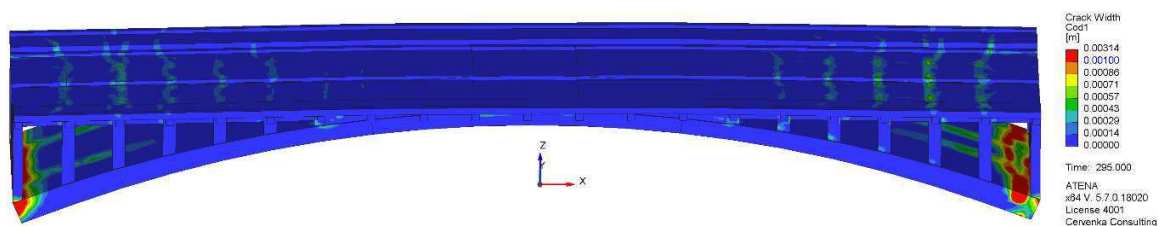


Obr. 3-9 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

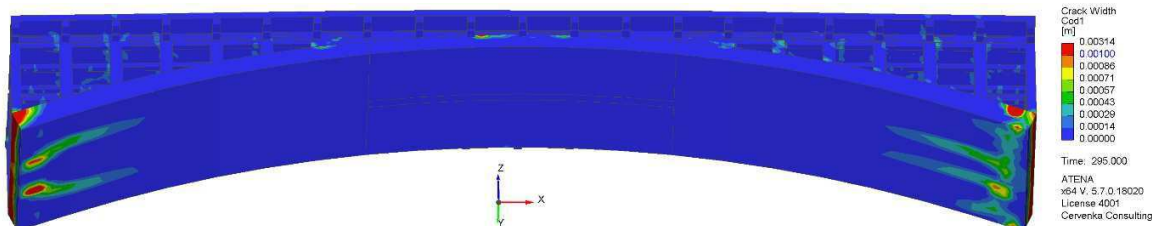


Obr. 3-10 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



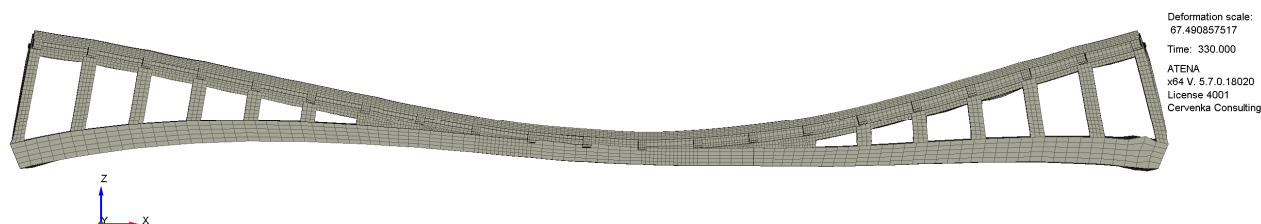


Obr. 3-11 Šířka trhlin v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

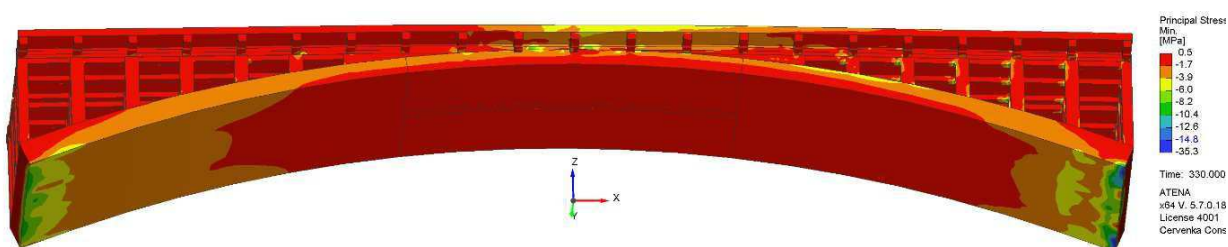


Obr. 3-12 Šířka trhlin v betonu pro model A – normální zatížitelnost 20t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod

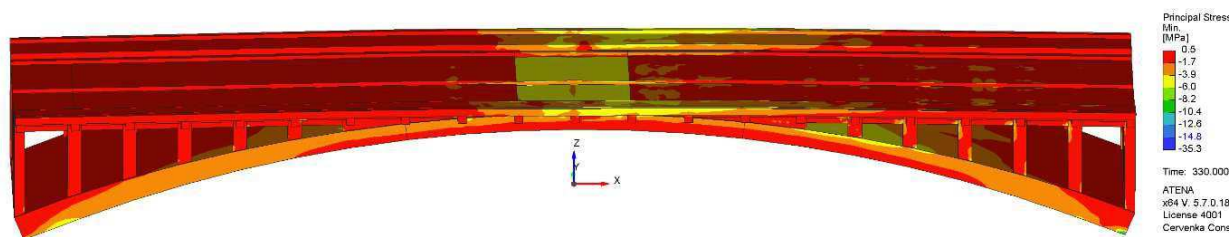
### 3.1.1.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 28.35t



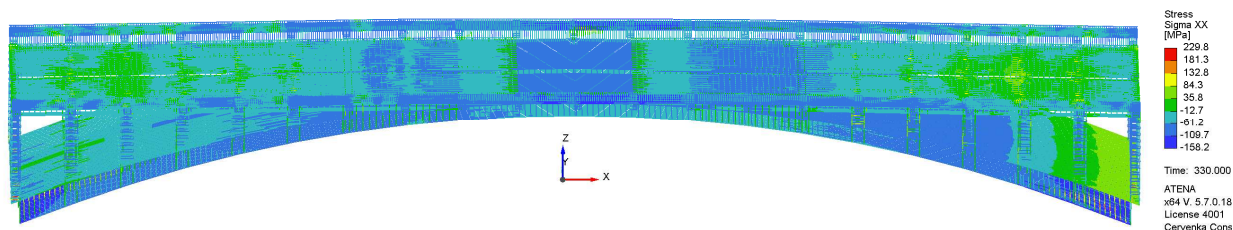
Obr. 3-13 Deformovaný tvar pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku



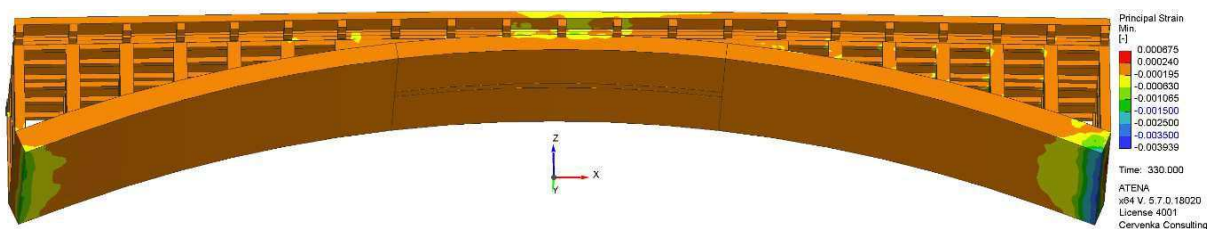
Obr. 3-14 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



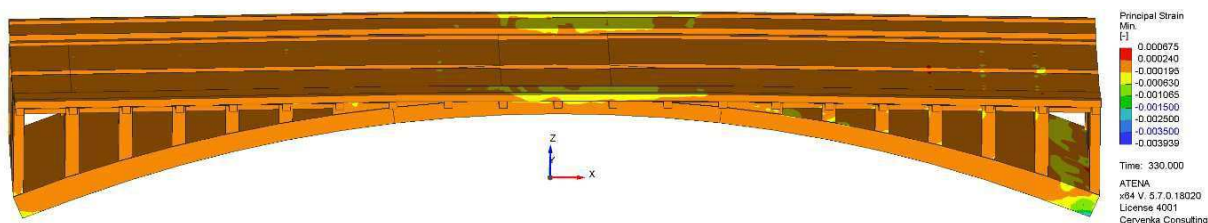
Obr. 3-15 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



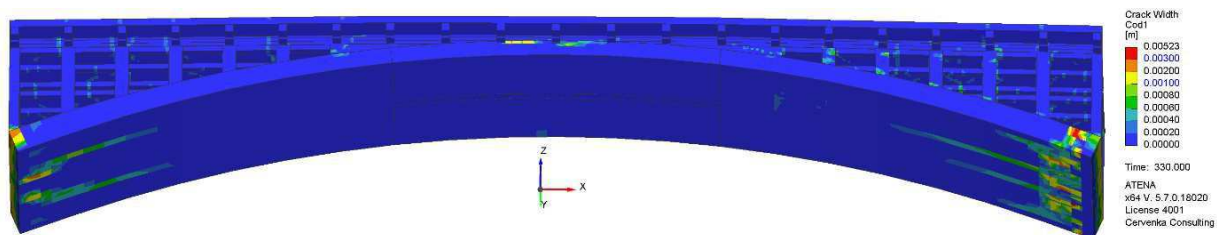
Obr. 3-16 Napětí ve výztuži pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku



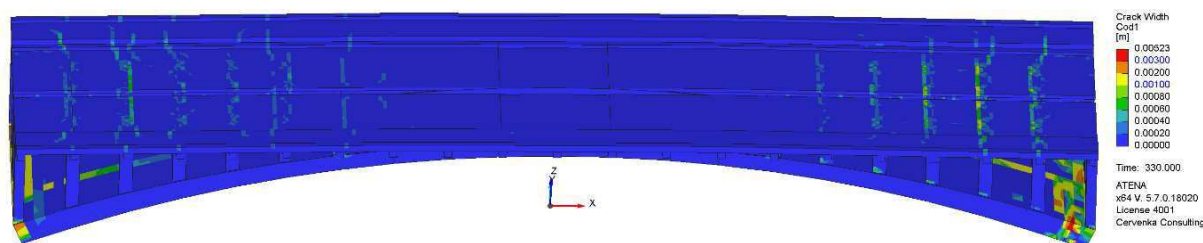
Obr. 3-17 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-18 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-19 Šířka trhlin v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



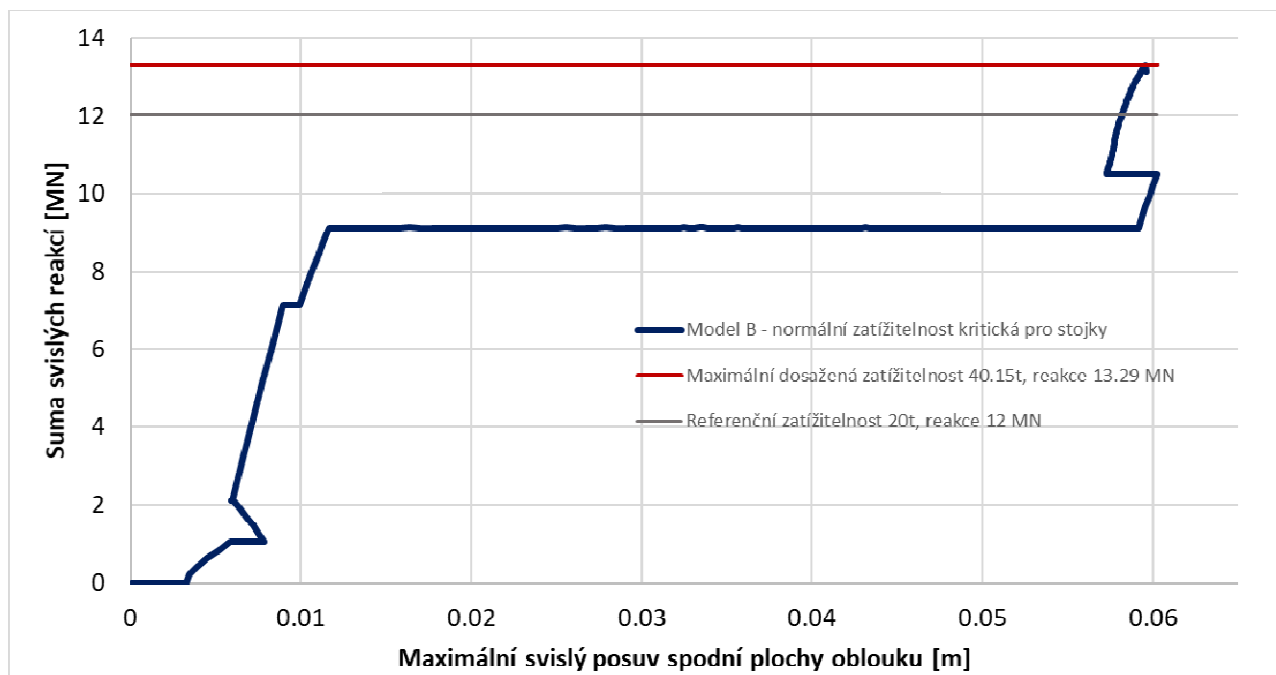
Obr. 3-20 Šířka trhlin v betonu pro model A – maximální normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod

### 3.1.2 Model B – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro stojky

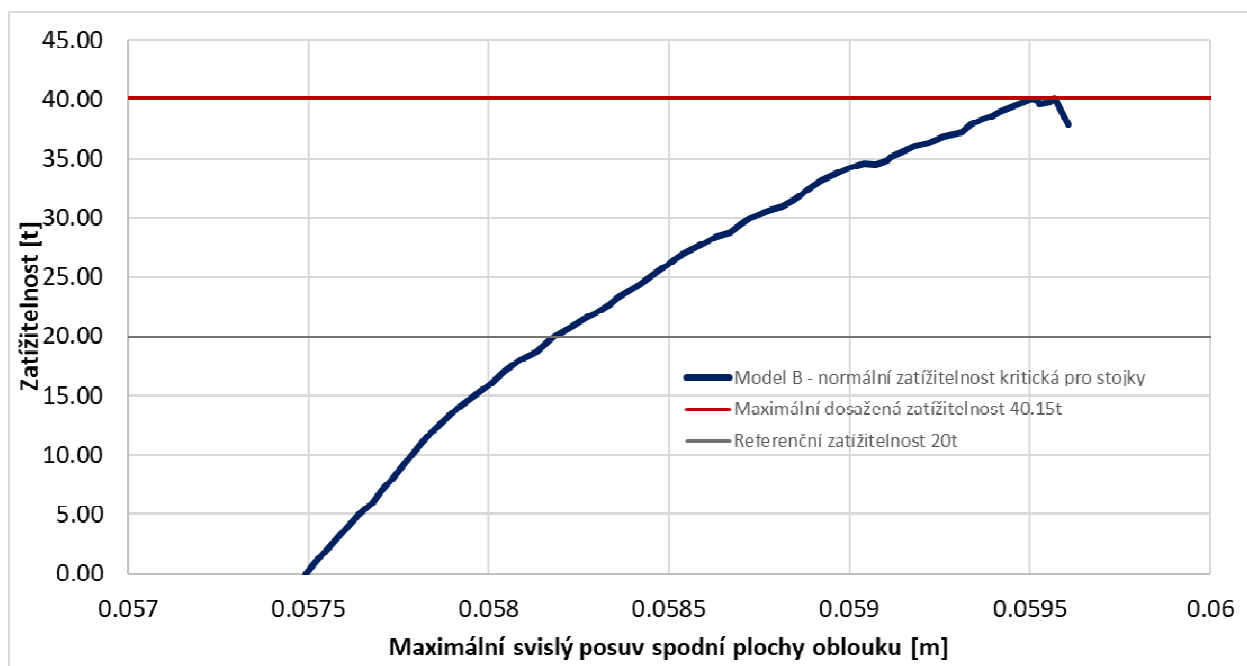
Na Obr. 3-21 je znázorněn L-D diagram pro model B, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-22). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 40.15 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.2.1 jsou uvedeny výše zmíněné grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 20t (Obr. 3-23 - Obr. 3-32).

V kapitole 3.1.2.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-33 - Obr. 3-40). V tomto případě se předpoklady z lineárního výpočtu, který předpovídá selhání stojek, nepotvrdily, a jedná opět o tlakové porušení v oblasti pravého vetknutí oblouku (jako u modelu A). Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-33).

Hlavní tlaková napětí (Obr. 3-34 - Obr. 3-35) dosahují v oblasti pravého vetknutí oblouku hodnot pevnosti betonu v tlaku (14.8 MPa pro oblouk) a hlavní tlaková poměrná přetvoření (Obr. 3-37 - Obr. 3-38) v tomto místě již dosahují hodnot, při kterých je beton považován za rozdrčený (0.0035). Naopak nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-36) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



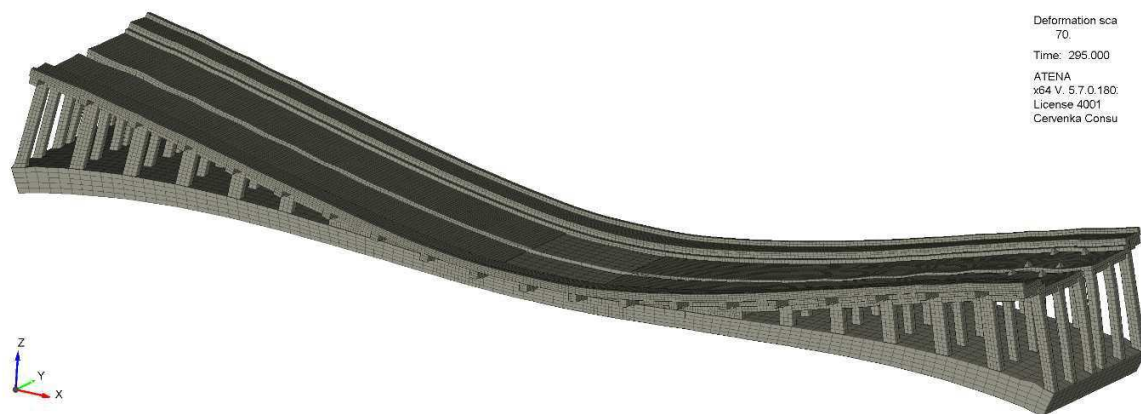
Obr. 3-21 L-D diagram, model B – normální zatížitelnost - kritická pro stojky



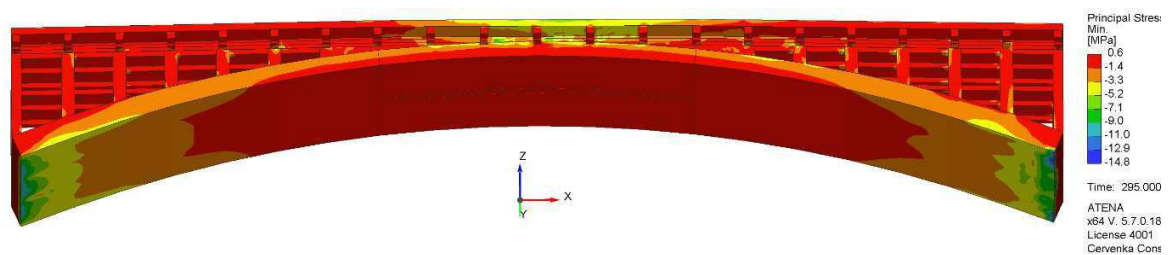
Obr. 3-22 Zatížitelnost, model B – normální zatížitelnost - kritická pro stojky

### 3.1.2.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t

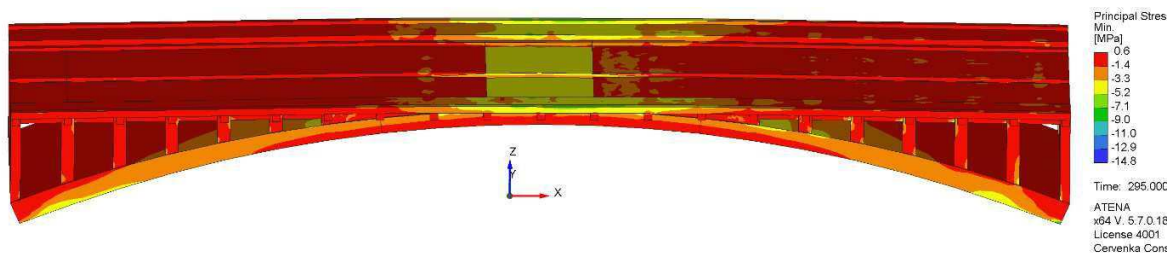




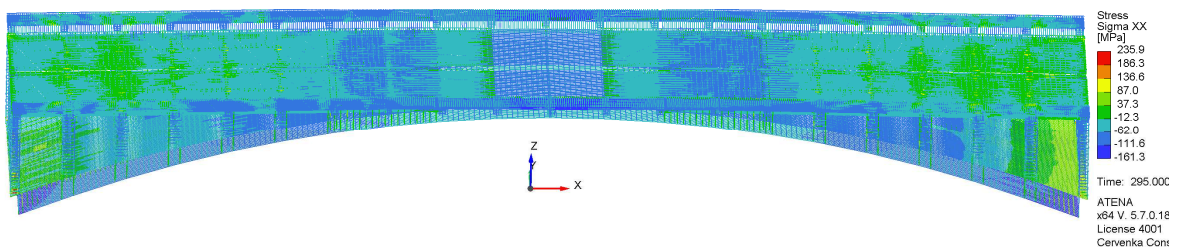
Obr. 3-23 Deformovaný tvar pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky



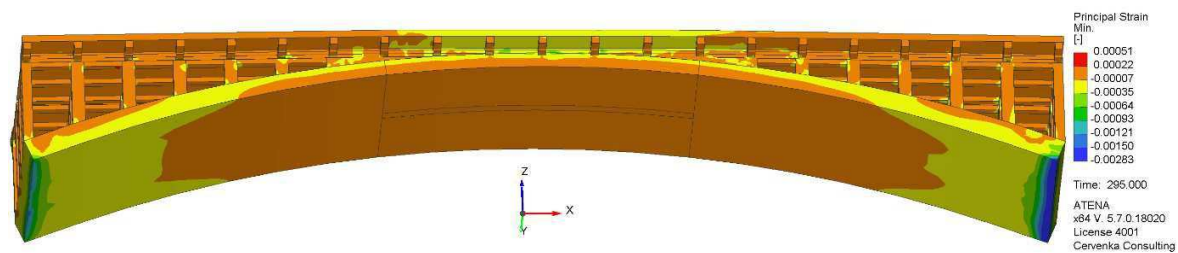
Obr. 3-24 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



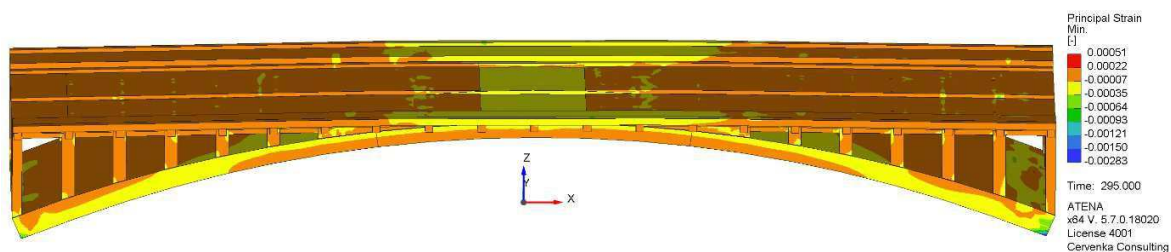
Obr. 3-25 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora



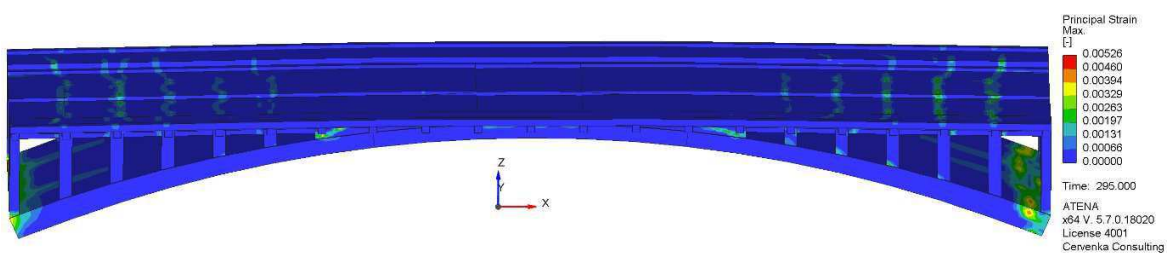
Obr. 3-26 Napětí ve výztuži pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky



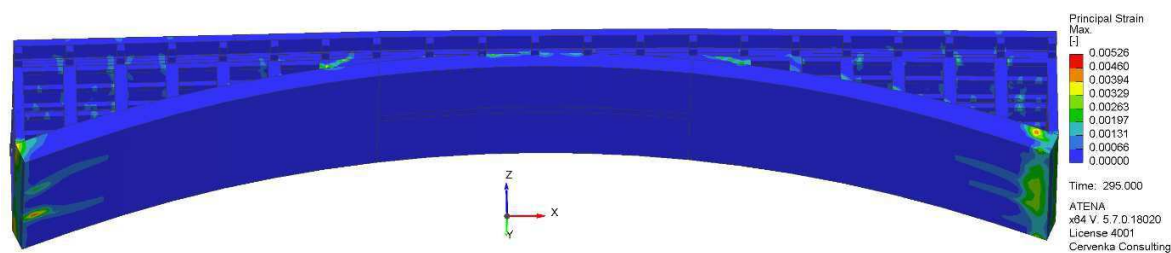
Obr. 3-27 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



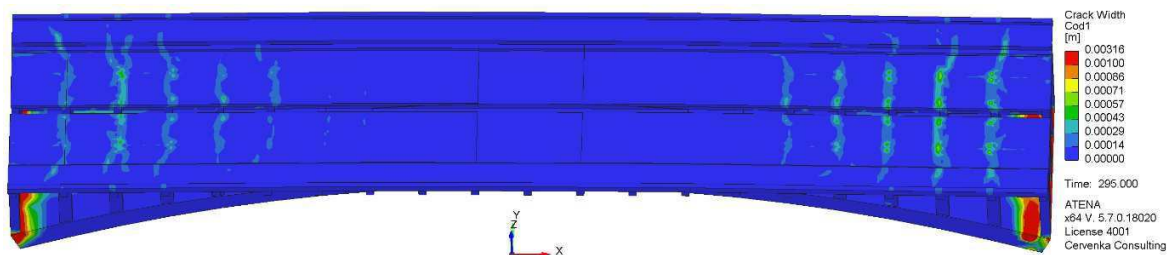
Obr. 3-28 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora



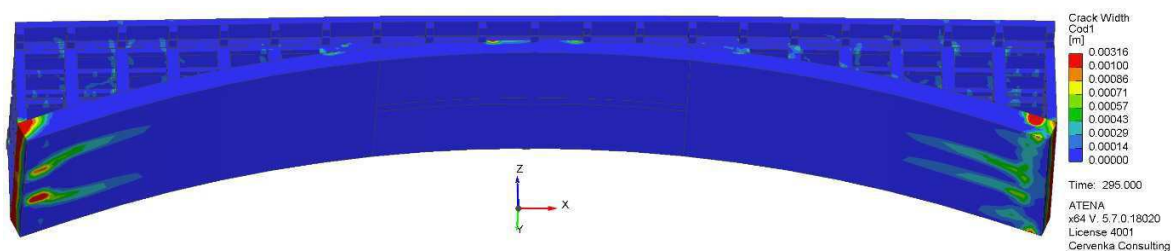
Obr. 3-29 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora



Obr. 3-30 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

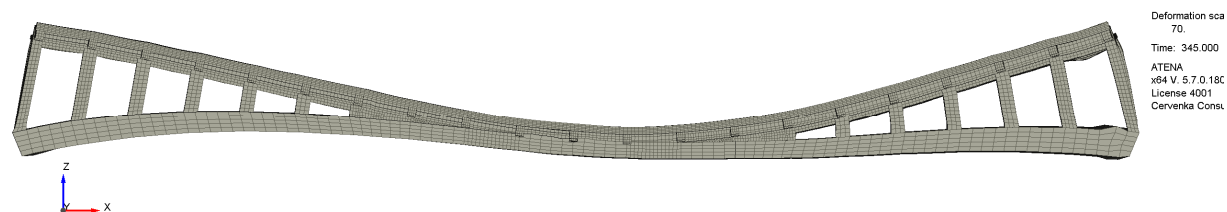


Obr. 3-31 Šířka trhlin v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie shora

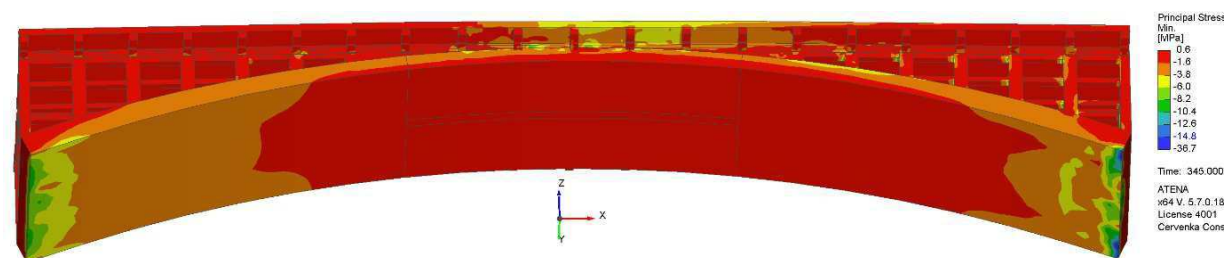


Obr. 3-32 Šířka trhlin v betonu pro model B – normální zatížitelnost 20t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

### 3.1.2.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 40.15t

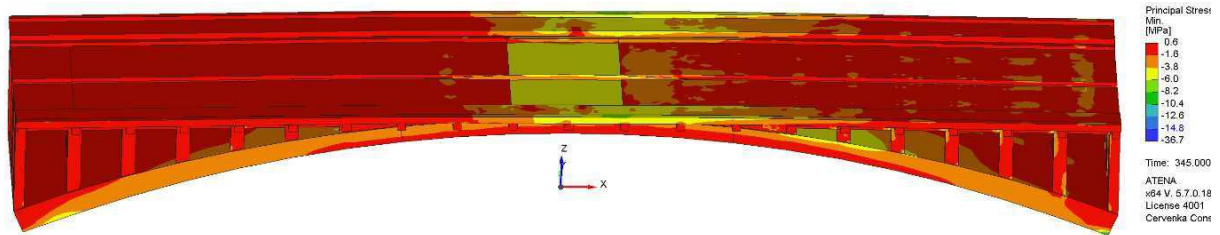


Obr. 3-33 Deformovaný tvar pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky

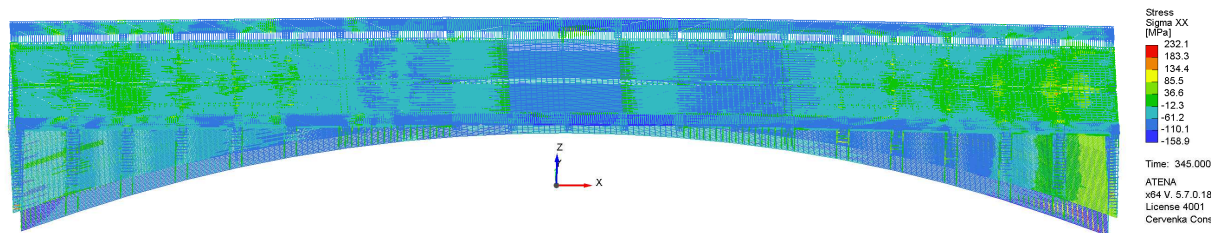


Obr. 3-34 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

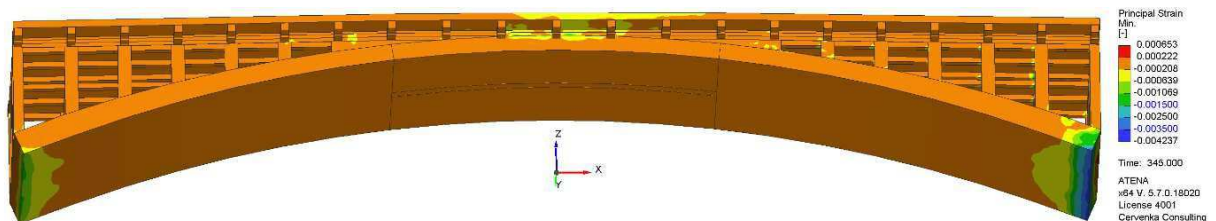




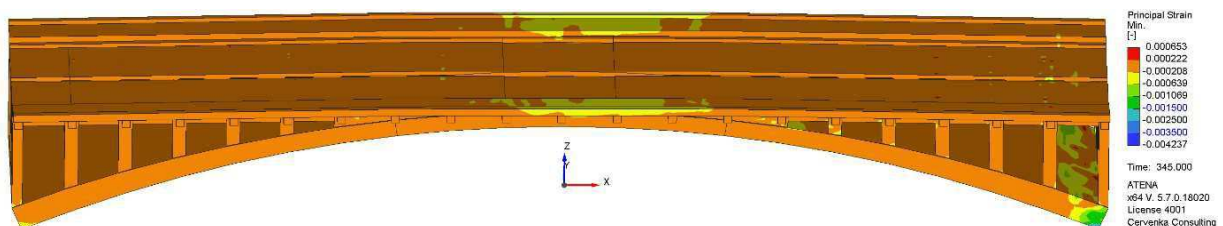
Obr. 3-35 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora



Obr. 3-36 Napětí ve výztuži pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky

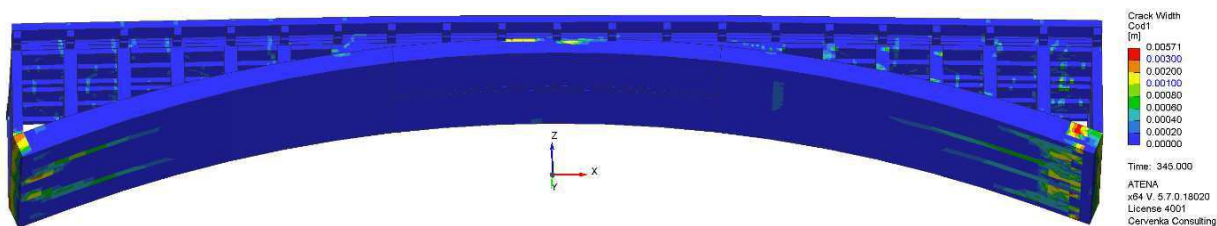


Obr. 3-37 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

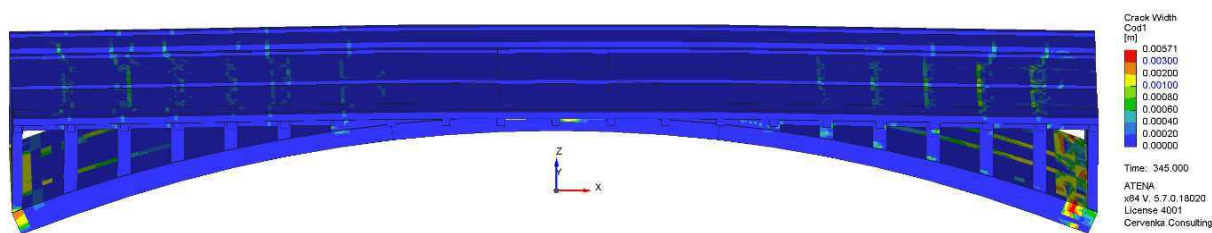


Obr. 3-38 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora





Obr. 3-39 Šířka trhlin v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie shora

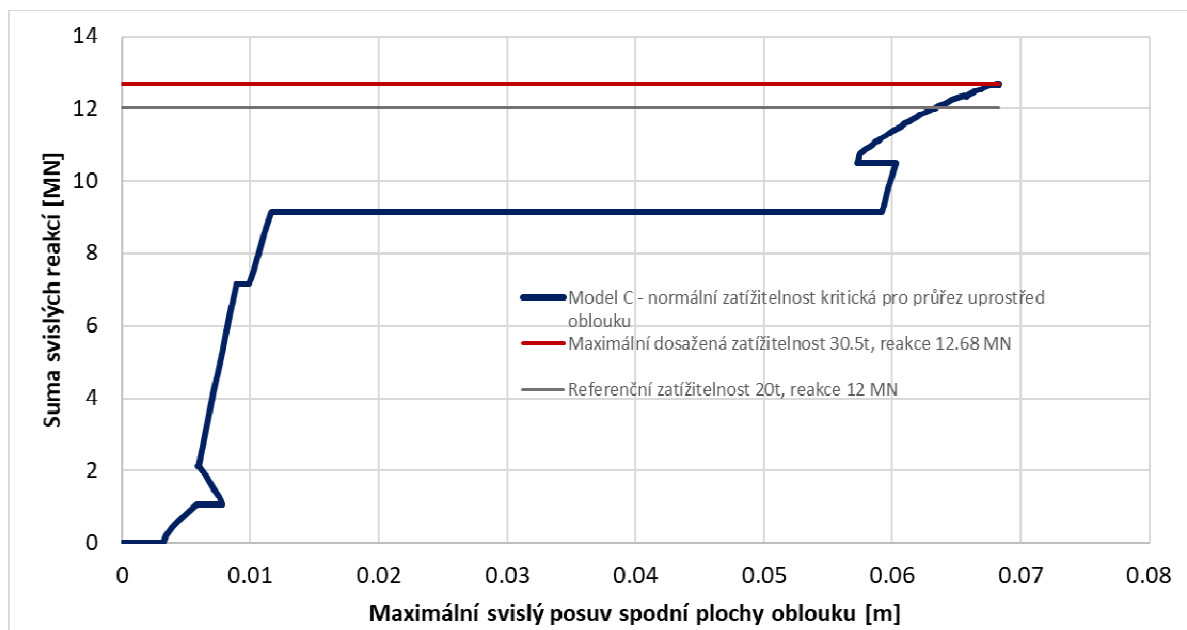


Obr. 3-40 Šířka trhlin v betonu pro model B – maximální normální zatížitelnost 40.15t - kritická pro stojky, axonometrie zespodu

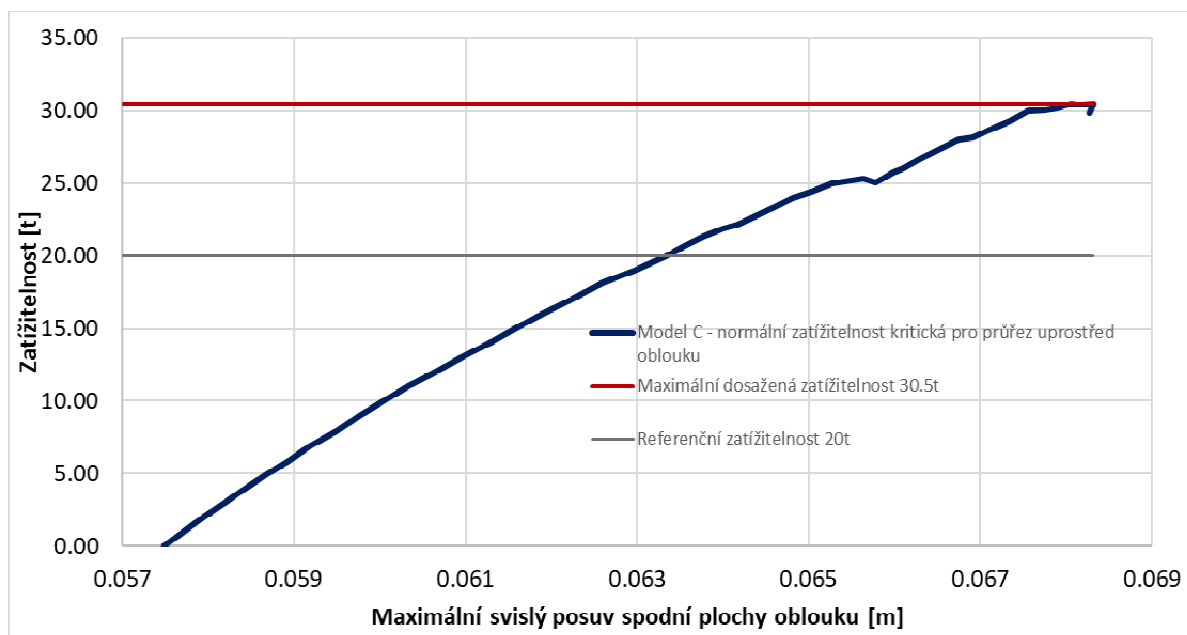
### 3.1.3 Model C – MSÚ – normální zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku

Na Obr. 3-41 je znázorněn L-D diagram pro model C, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-42). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 30.5 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.3.1 jsou uvedeny vybrané grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 20t (Obr. 3-43 - Obr. 3-52).

V kapitole 3.1.3.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-53 - Obr. 3-60). V tomto případě jsou předpoklady z lineárního výpočtu, který předpovídá selhání průřezu uprostřed oblouku, potvrzeny. Konstrukce se skutečně porušuje v tlaku uprostřed rozpětí oblouku. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-53) a koncentrace hlavních tlakových napětí uprostřed rozpětí mostu (Obr. 3-54 - Obr. 3-55). Nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-56) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.

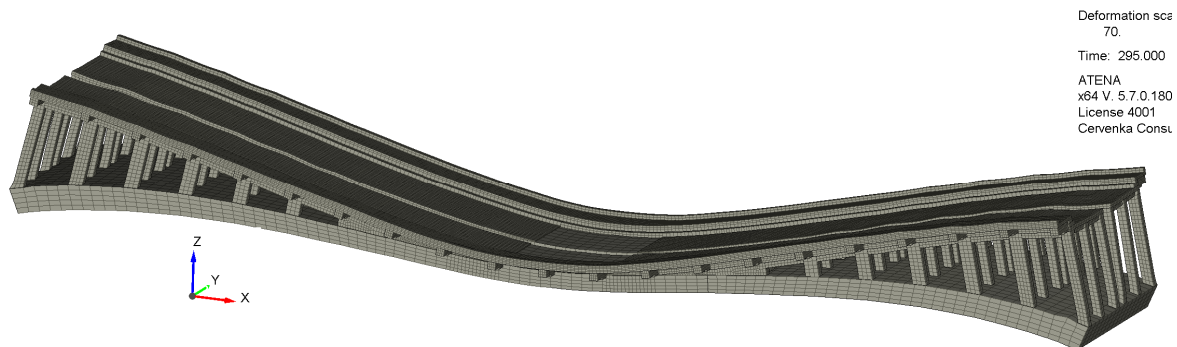


Obr. 3-41 L-D diagram, model C – normální zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku

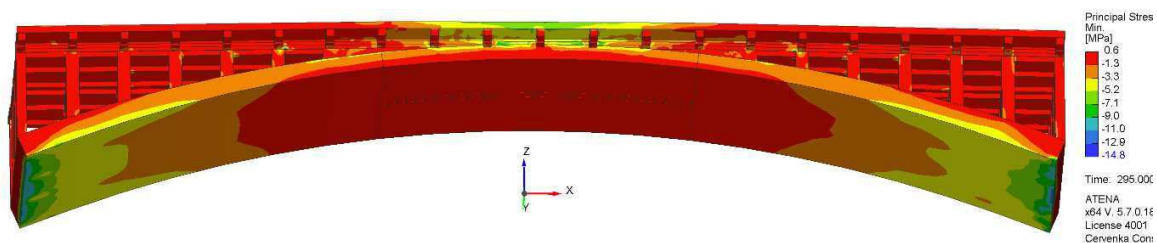


Obr. 3-42 Zatížitelnost, model C – normální zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku

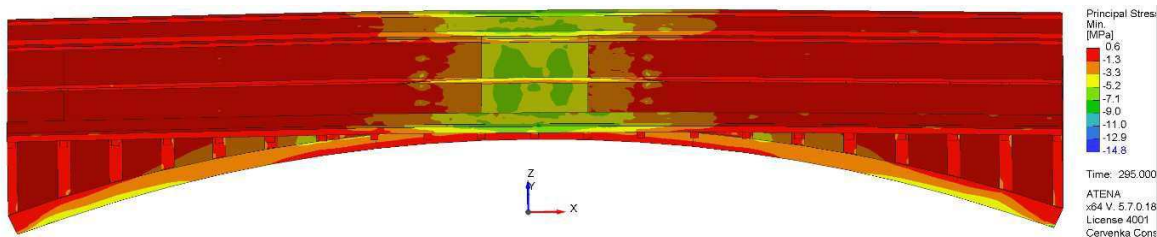
### 3.1.3.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 20t



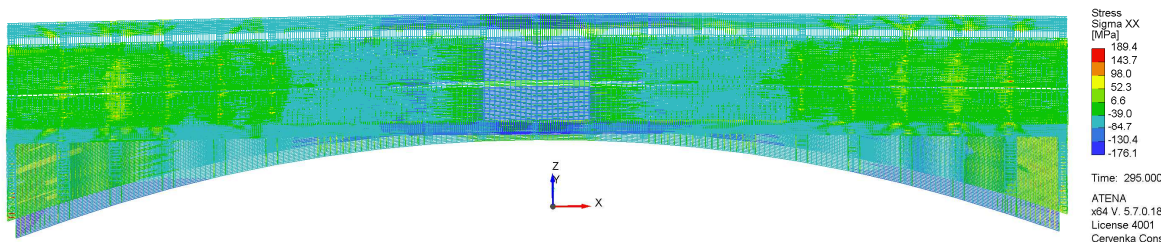
Obr. 3-43 Deformovaný tvar pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



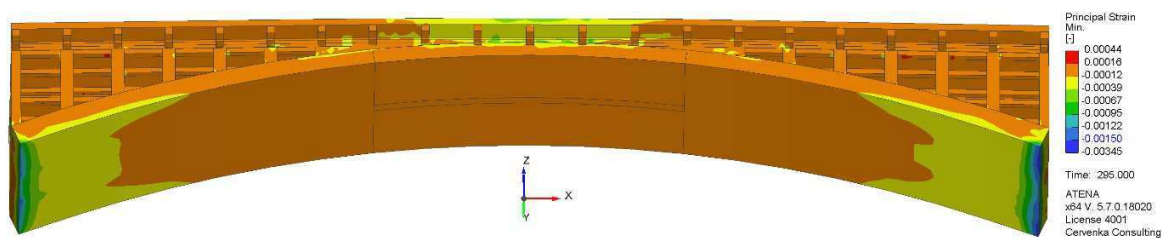
Obr. 3-44 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



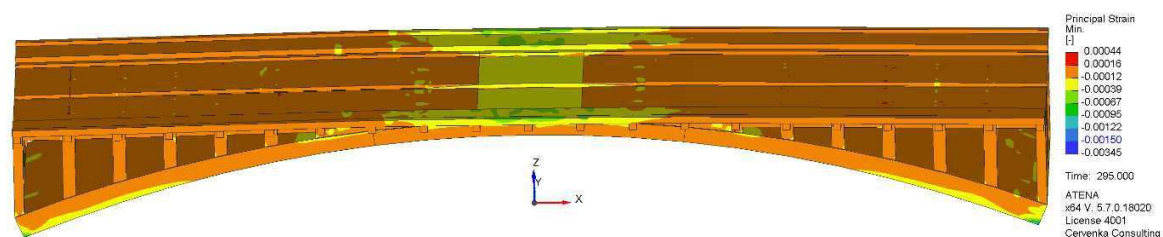
Obr. 3-45 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



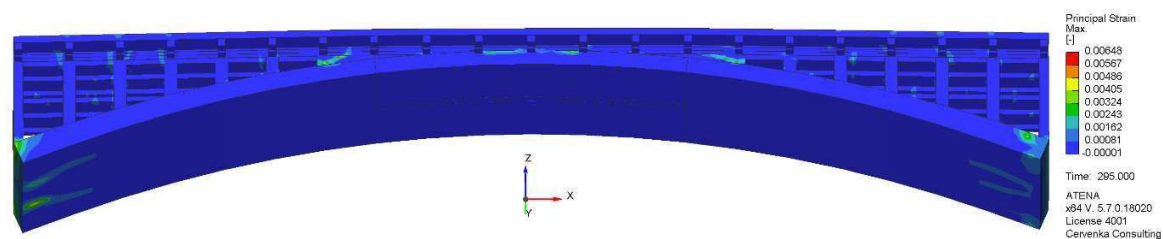
Obr. 3-46 Napětí ve výztuži pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



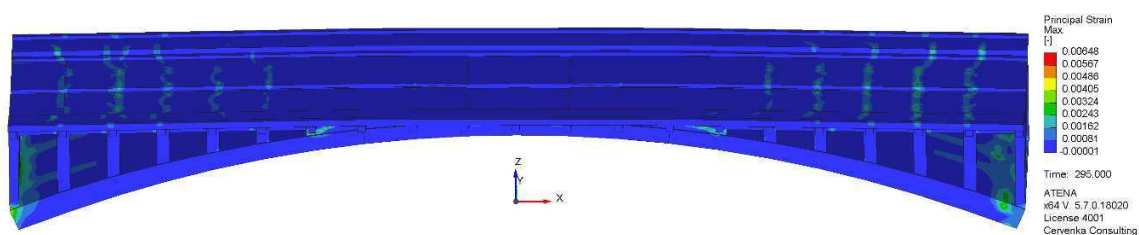
Obr. 3-47 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-48 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

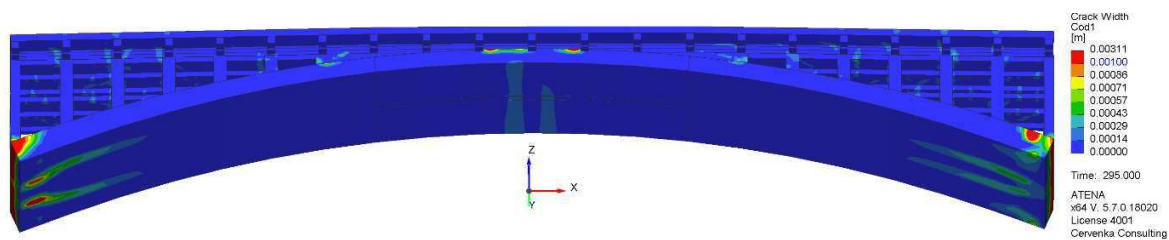


Obr. 3-49 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

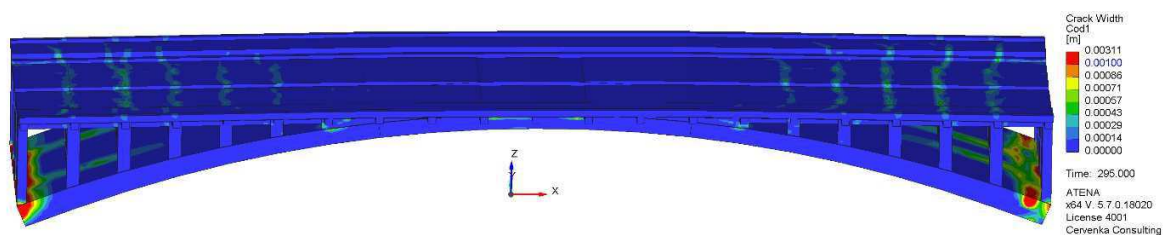


Obr. 3-50 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



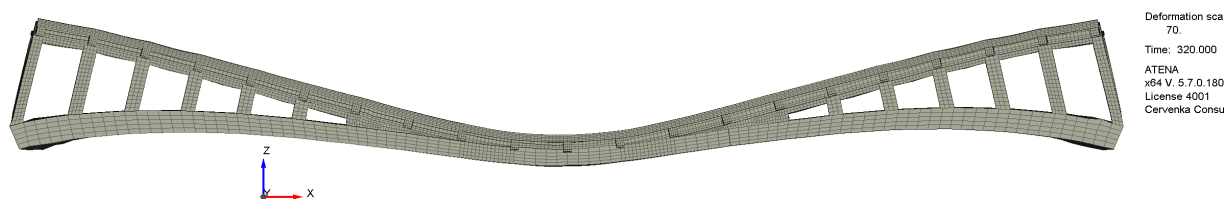


Obr. 3-51 Šířka trhlin v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

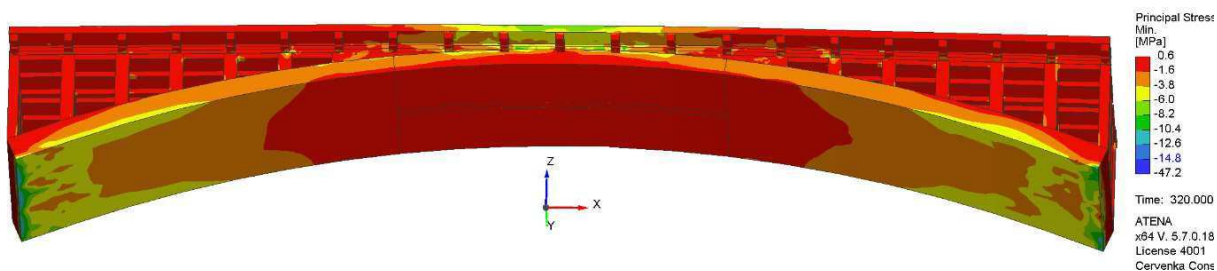


Obr. 3-52 Šířka trhlin v betonu pro model C – normální zatížitelnost 20t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

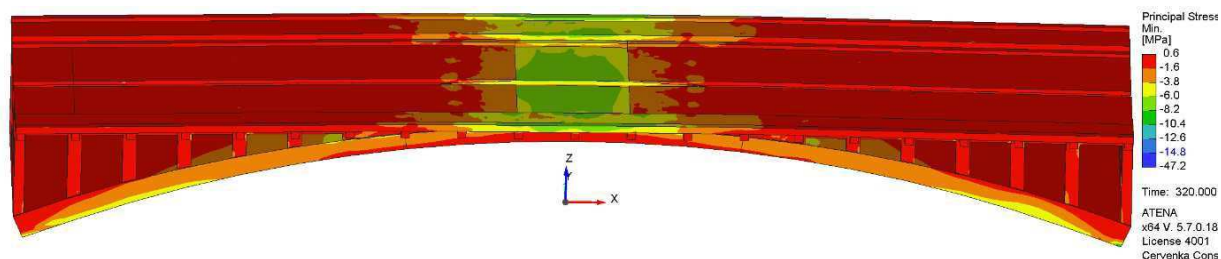
### 3.1.3.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 30.5t



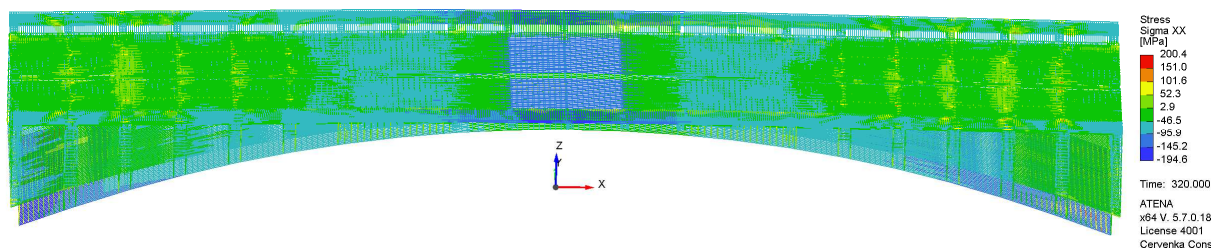
Obr. 3-53 Deformovaný tvar pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



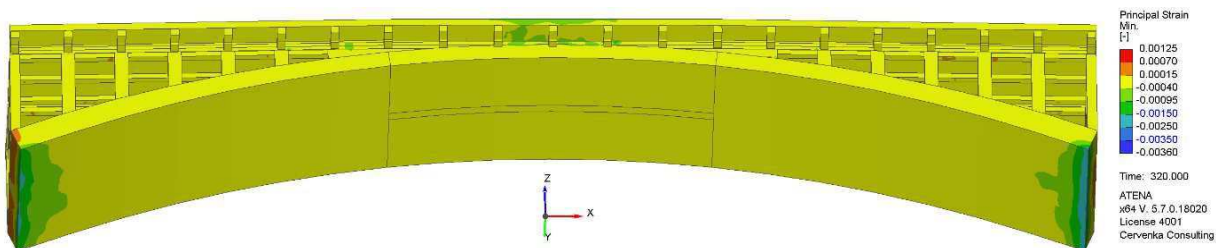
Obr. 3-54 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



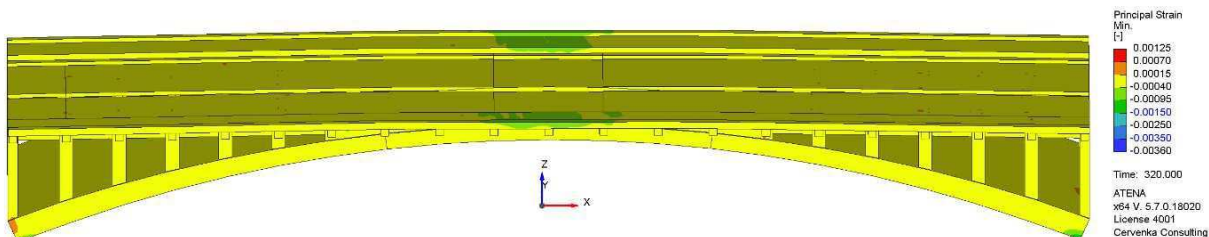
Obr. 3-55 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5 t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



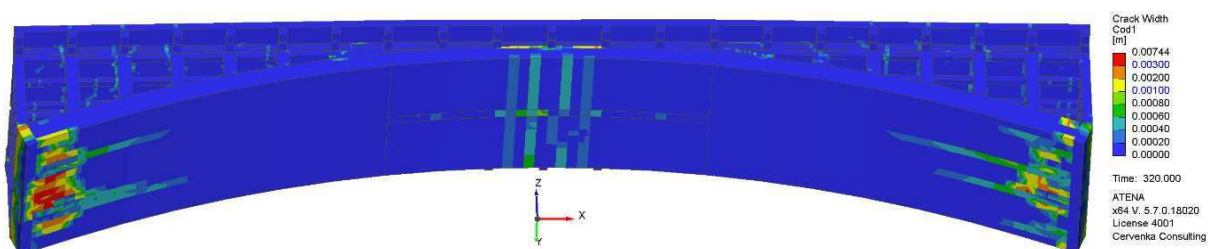
Obr. 3-56 Napětí ve výztuži pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



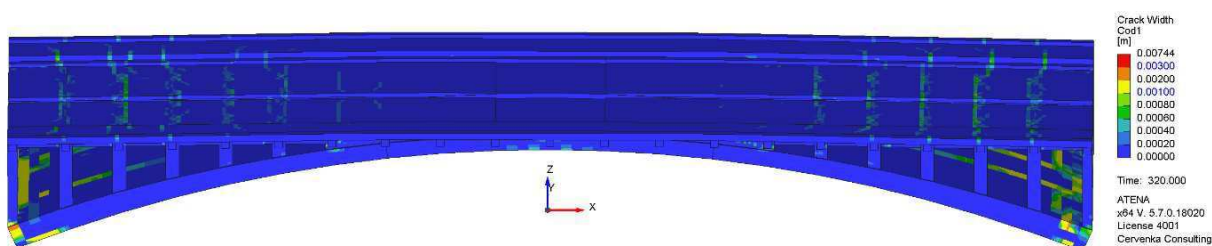
Obr. 3-57 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespodu



Obr. 3-58 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-59 Šířka trhlin v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



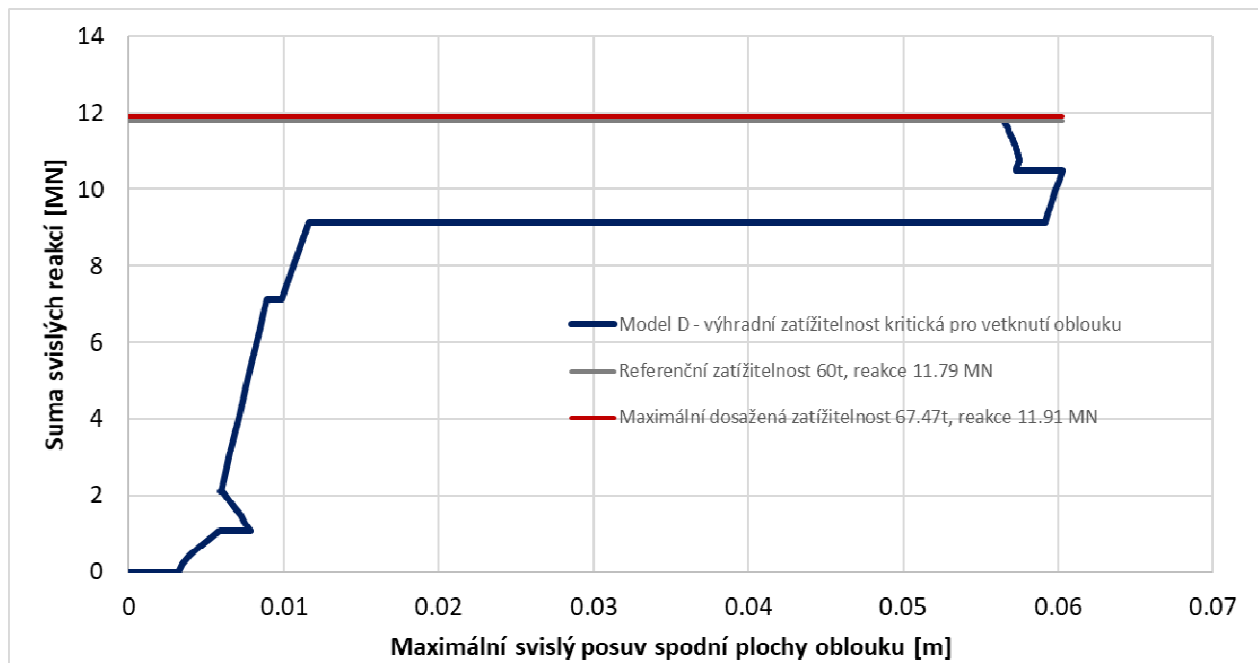
Obr. 3-60 Šířka trhlin v betonu pro model C – maximální normální zatížitelnost 30.5t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

### 3.1.4 Model D – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku

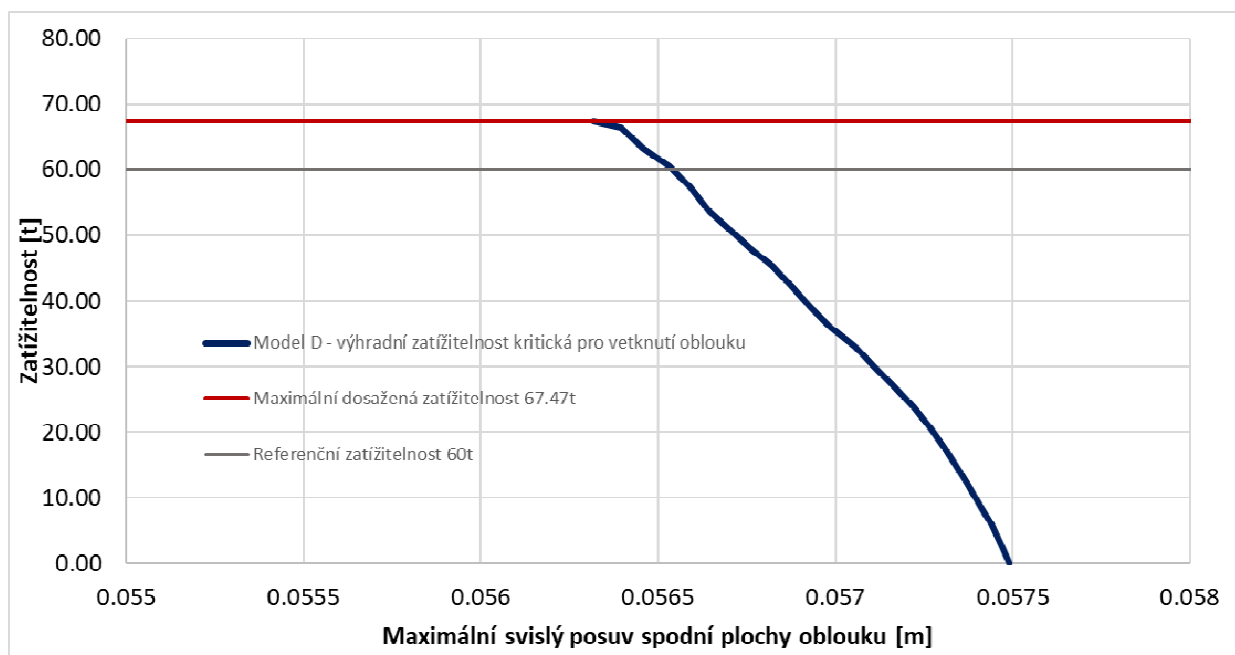
Na Obr. 3-61 je znázorněn L-D diagram pro model D, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-62). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 67.47 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.4.1 jsou uvedeny výše zmíněné grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 60t (Obr. 3-63 - Obr. 3-72).

V kapitole 3.1.4.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-73 - Obr. 3-80). Dle předpokladů z lineárního výpočtu se opět jedná o tlakové porušení v oblasti pravého vetknutí oblouku. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-73).

Hlavní tlaková napětí (Obr. 3-74 - Obr. 3-75) dosahují v oblasti pravého vetknutí oblouku hodnot pevnosti betonu v tlaku (14.8 MPa pro oblouk) a hlavní tlaková poměrná přetvoření (Obr. 3-77 - Obr. 3-78) v tomto místě již dosahují hodnot, při kterých je beton považován za rozdrčený (0.0035). Naopak nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-76) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



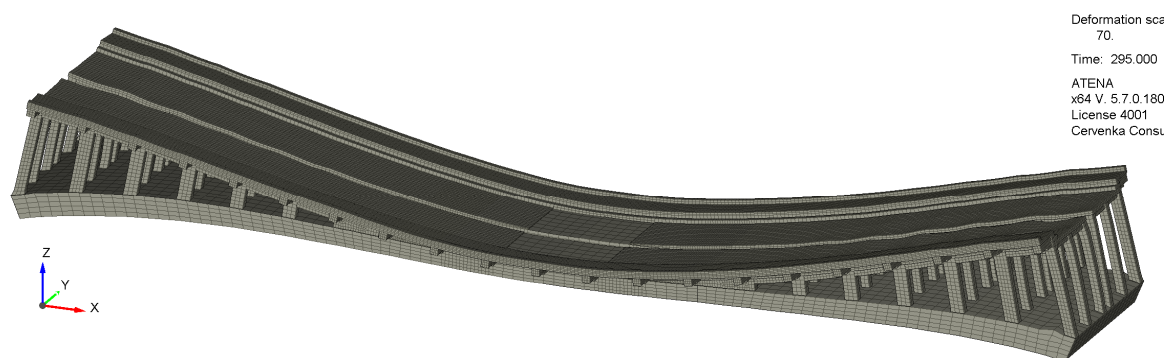
Obr. 3-61 L-D diagram, model D – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku



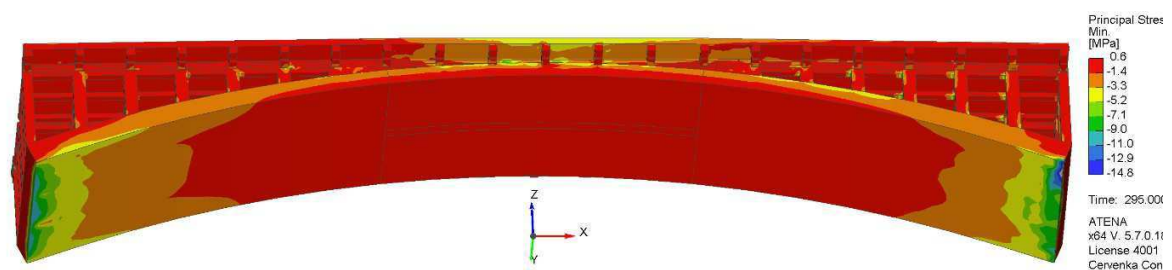
Obr. 3-62 Zatížitelnost, model D – výhradní zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku

### 3.1.4.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t

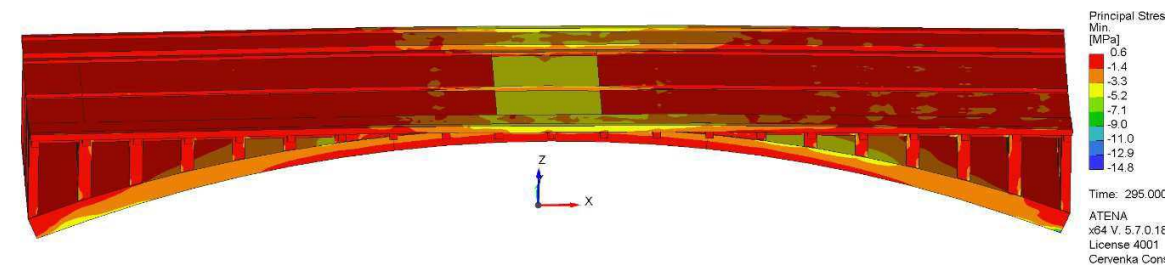




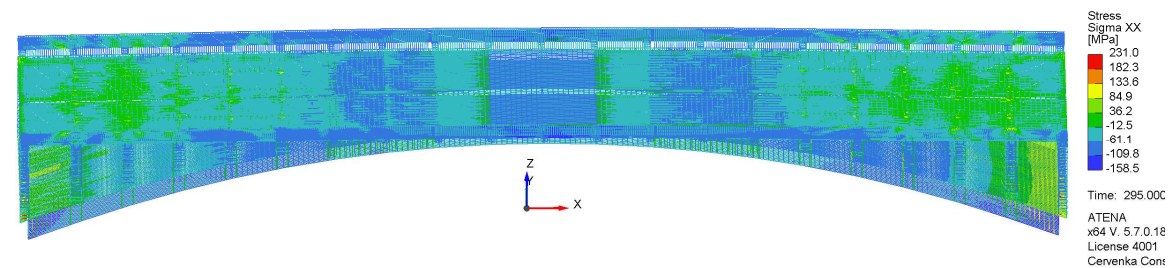
Obr. 3-63 Deformovaný tvar pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku



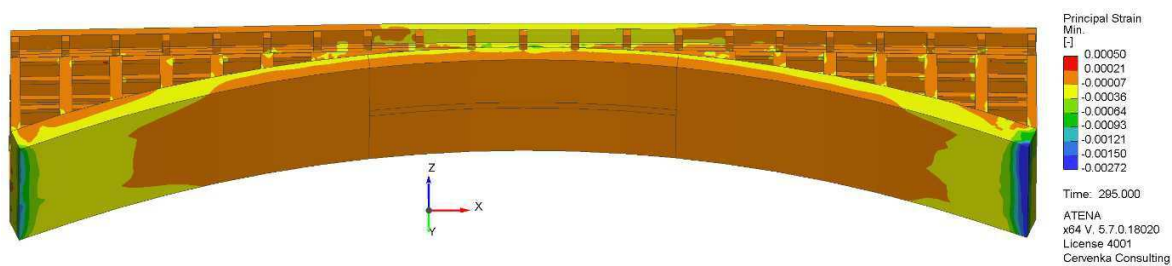
Obr. 3-64 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



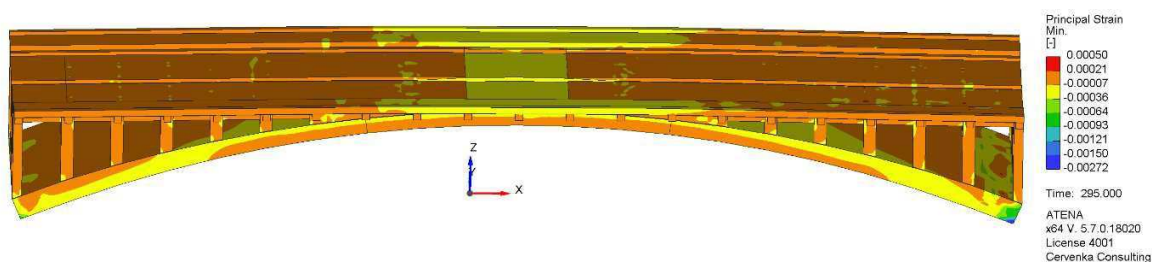
Obr. 3-65 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



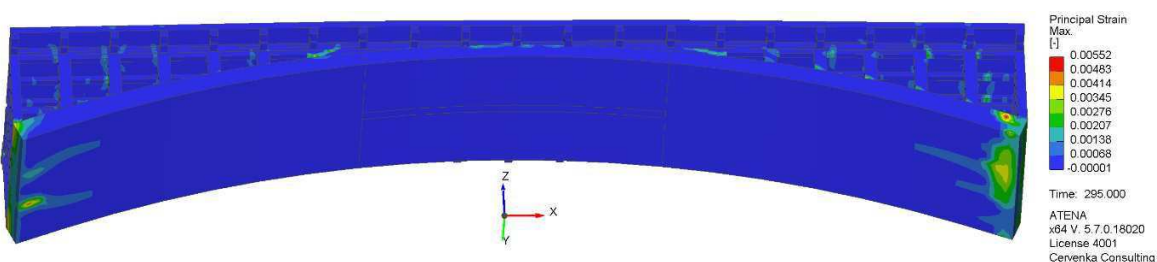
Obr. 3-66 Napětí ve výztuži pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku



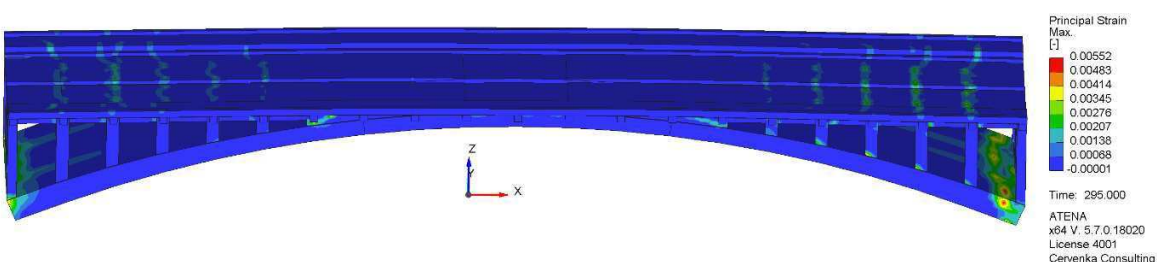
Obr. 3-67 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



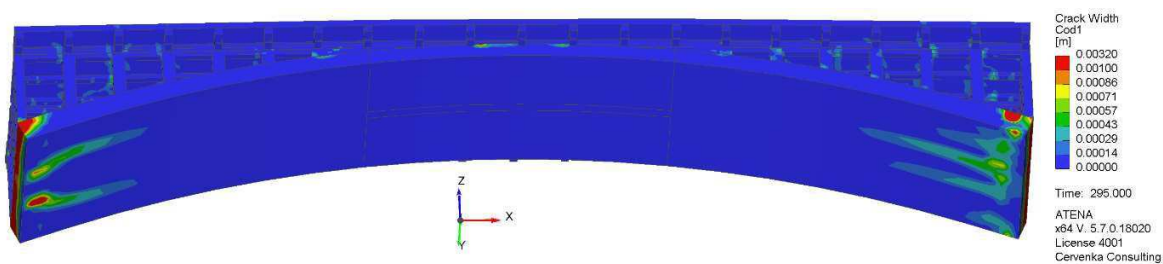
Obr. 3-68 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



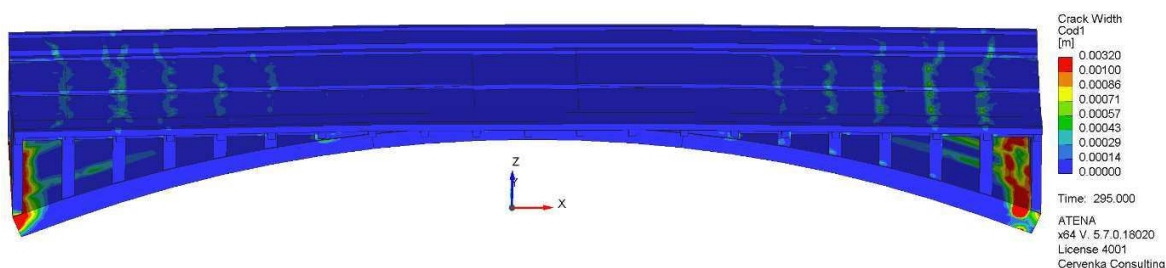
Obr. 3-69 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-70 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

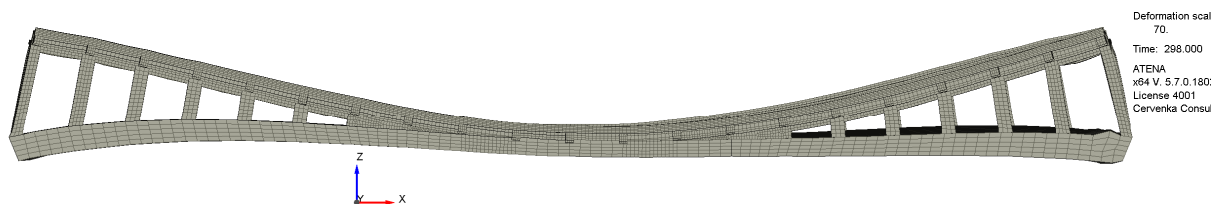


Obr. 3-71 Šířka trhlin v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

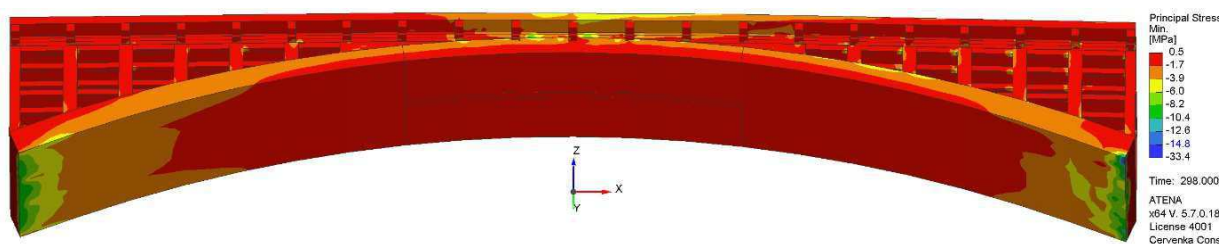


Obr. 3-72 Šířka trhlin v betonu pro model D – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

### 3.1.4.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 67.47t

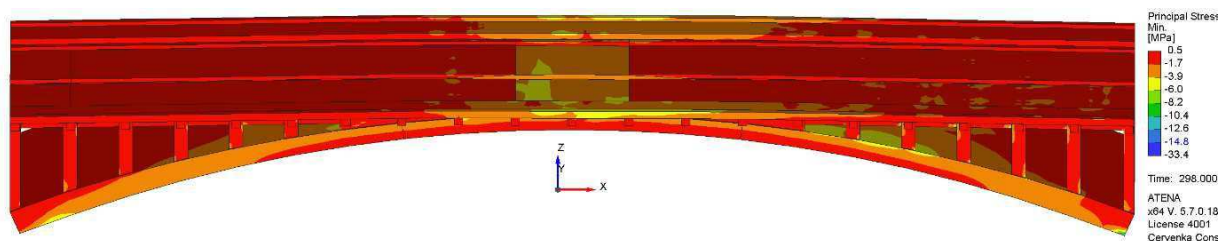


Obr. 3-73 Deformovaný tvar pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku

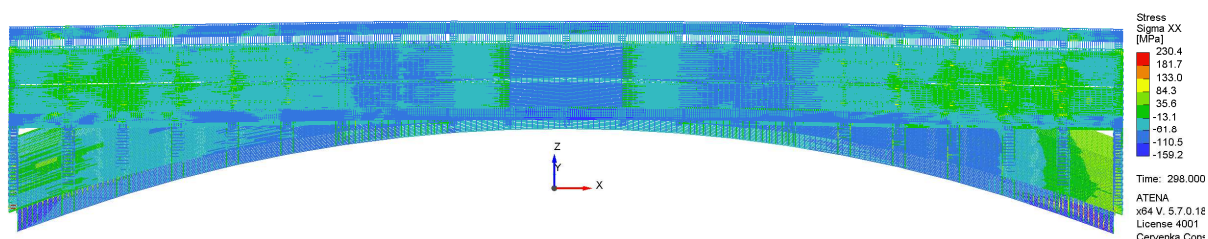


Obr. 3-74 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod

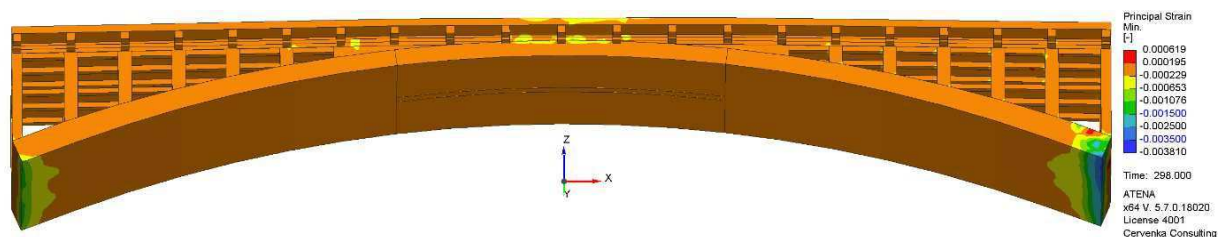




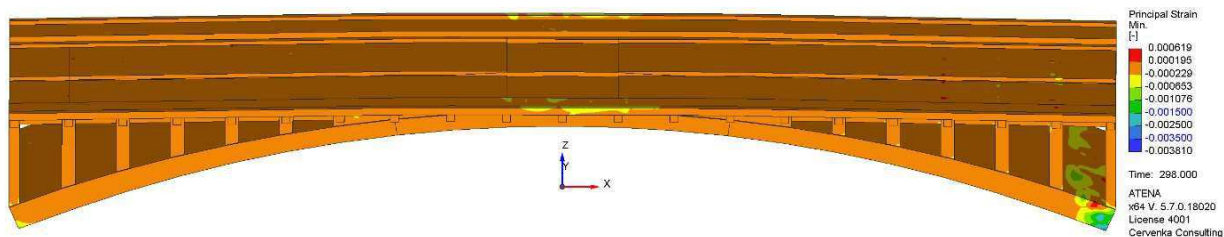
Obr. 3-75 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



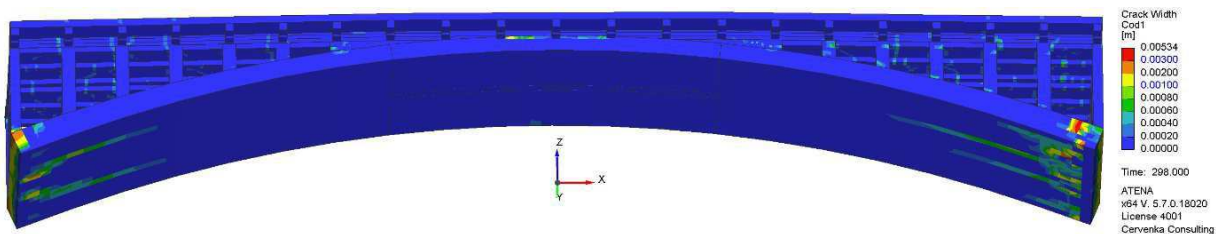
Obr. 3-76 Napětí ve výztuži pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku



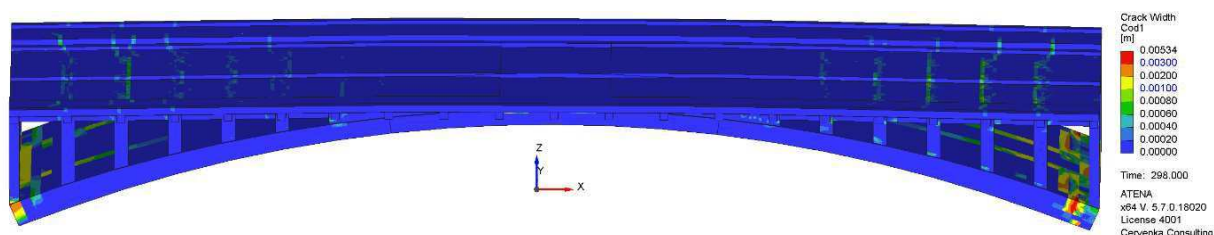
Obr. 3-77 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-78 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-79 Šířka trhlin v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



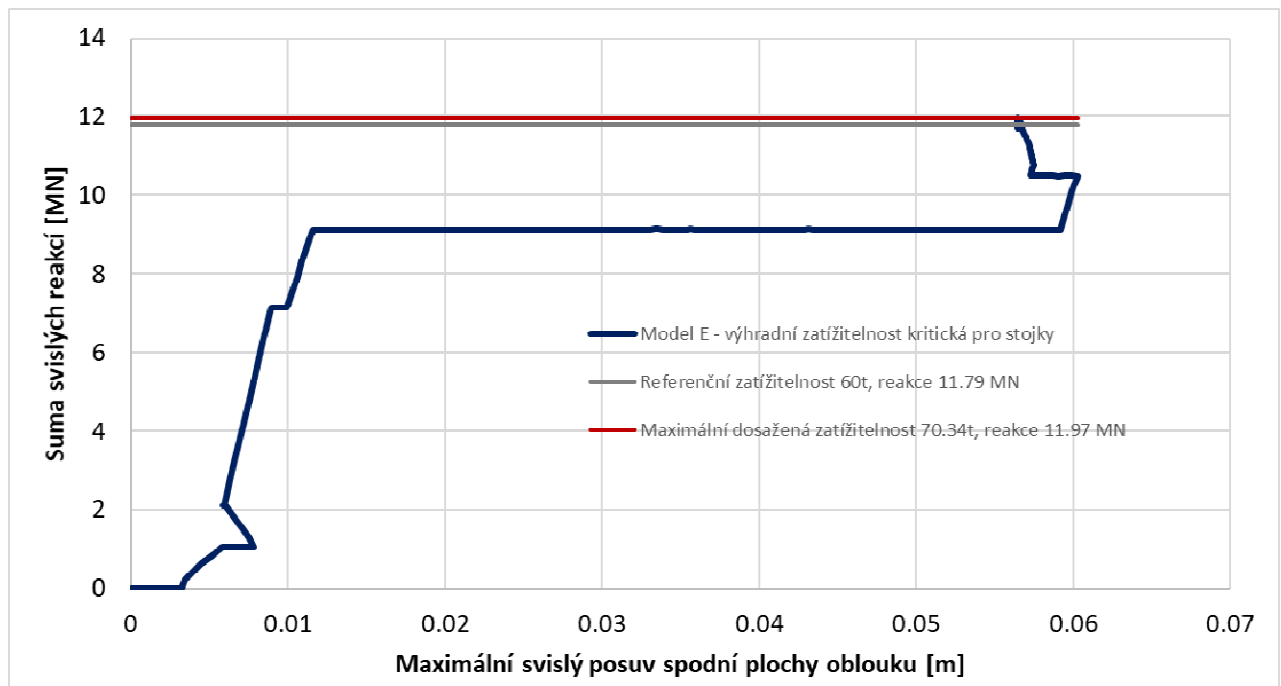
Obr. 3-80 Šířka trhlin v betonu pro model D – maximální výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

### 3.1.5 Model E – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro stojky

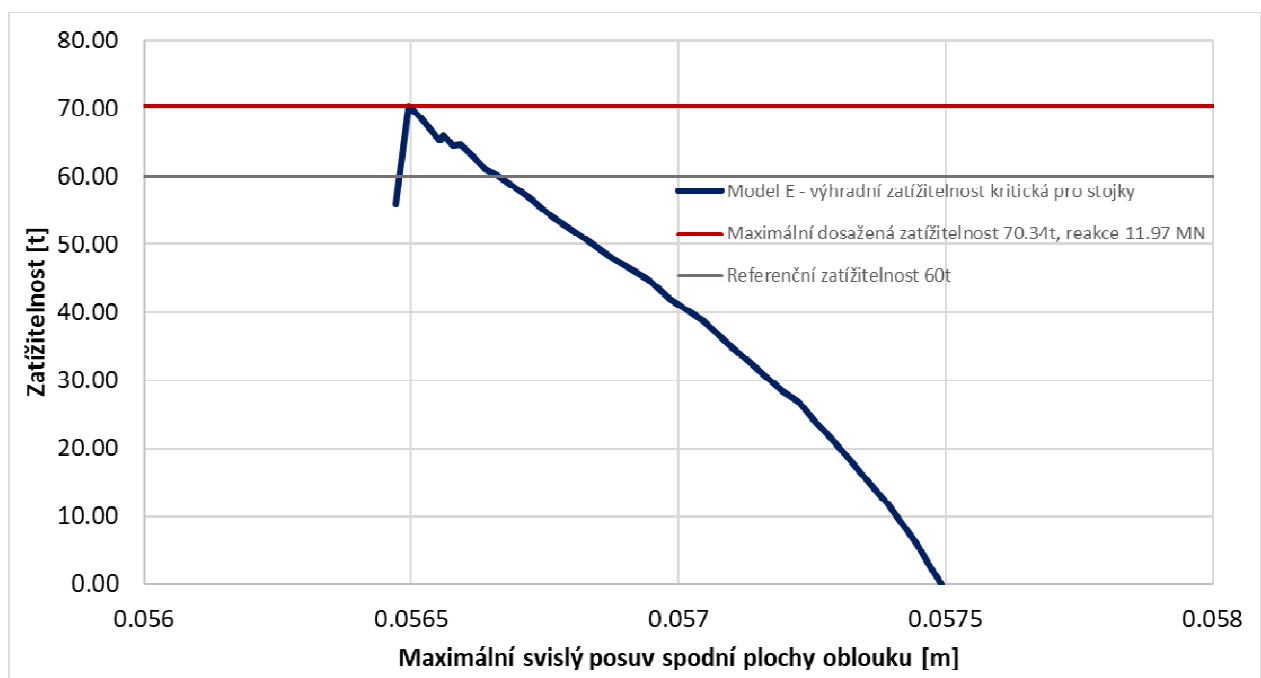
Na Obr. 3-81 je znázorněn L-D diagram pro model E, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-82). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 70.34 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.5.1 jsou uvedeny výše zmíněné grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 60t (Obr. 3-83 - Obr. 3-92).

V kapitole 3.1.5.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-93 - Obr. 3-100). V tomto případě se předpoklady z lineárního výpočtu, který předpovídá selhání stojek, nepotvrdily, a jedná opět o tlakové porušení v oblasti pravého vetknutí oblouku (jako u modelu D). Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-93).

Hlavní tlaková napětí (Obr. 3-94 - Obr. 3-95) dosahují v oblasti pravého vetknutí oblouku hodnot pevnosti betonu v tlaku (14.8 MPa pro oblouk) a hlavní tlaková poměrná přetvoření (Obr. 3-97 - Obr. 3-98) v tomto místě již dosahují hodnot, při kterých je beton považován za rozdrčený (0.0035). Naopak nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-96) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.

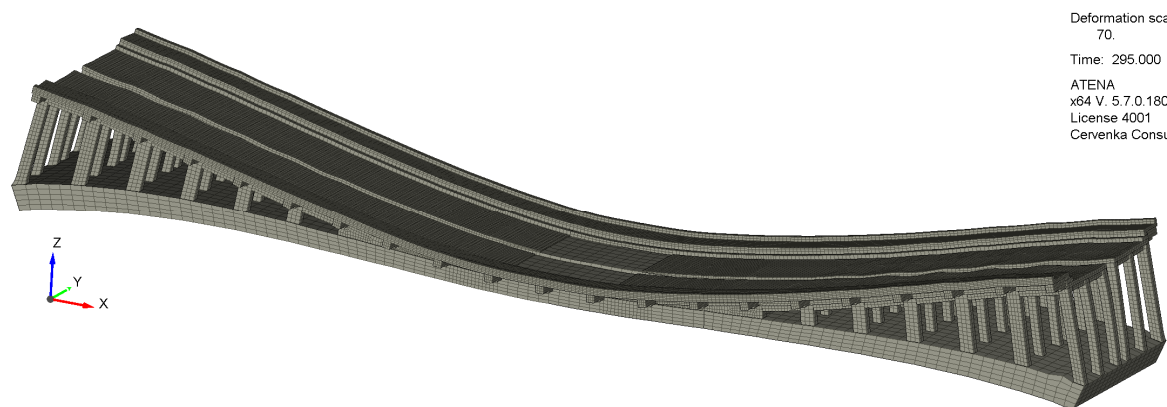


Obr. 3-81 L-D diagram, model E – výhradní zatížitelnost - kritická pro stojky

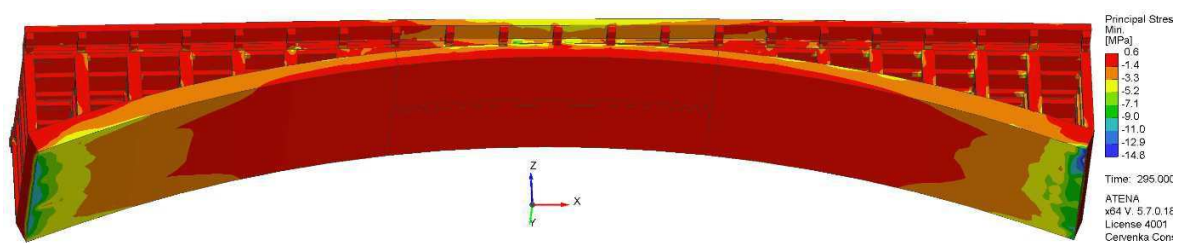


Obr. 3-82 Zatížitelnost, model E – výhradní zatížitelnost - kritická pro stojky

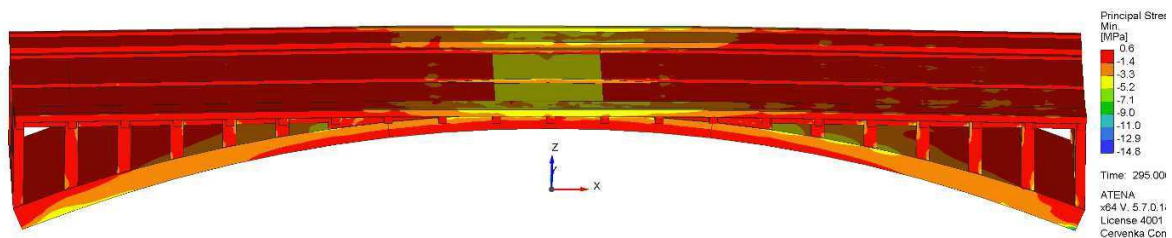
### 3.1.5.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t



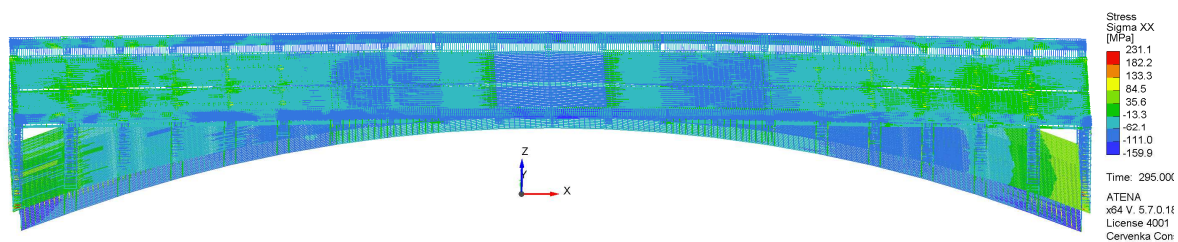
Obr. 3-83 Deformovaný tvar pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky



Obr. 3-84 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

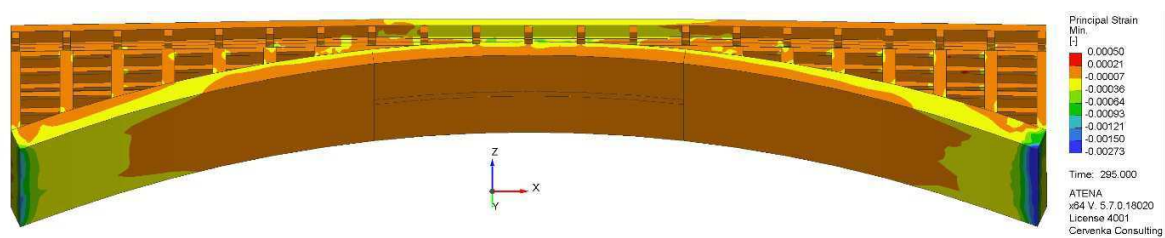


Obr. 3-85 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora

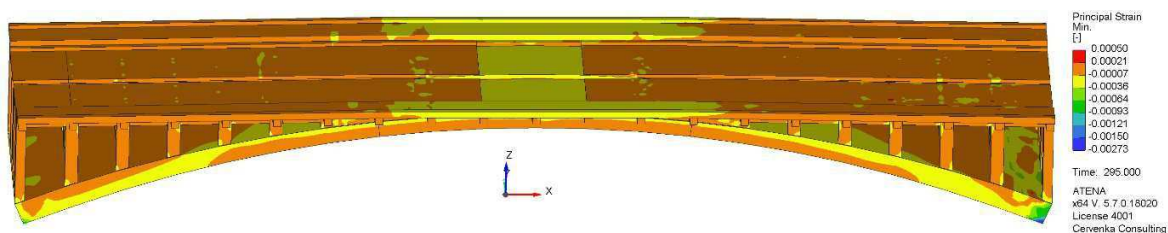


Obr. 3-86 Napětí ve výztuži pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky

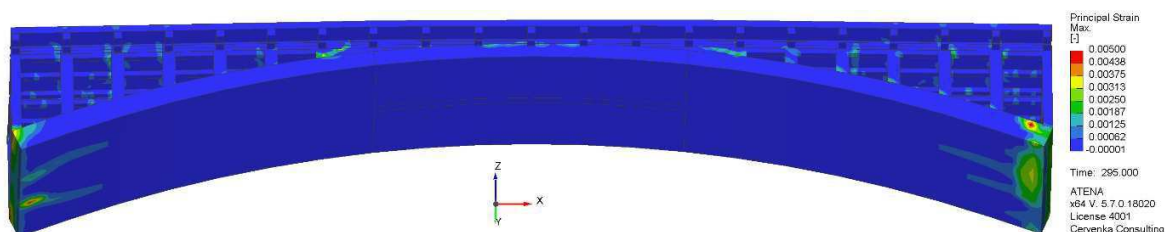




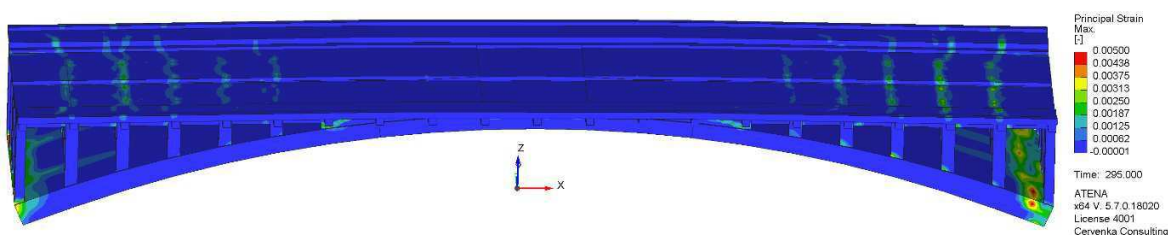
Obr. 3-87 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



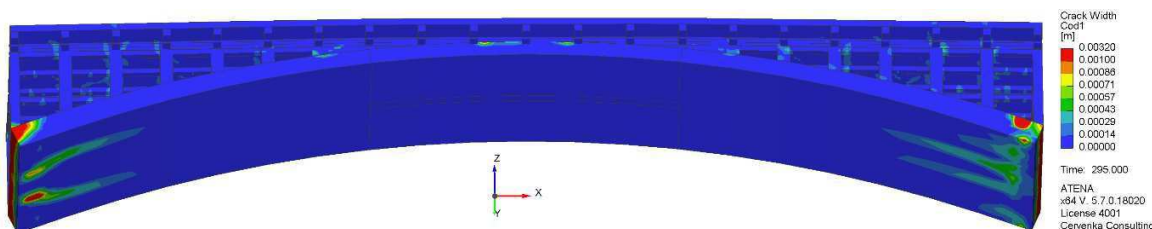
Obr. 3-88 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora



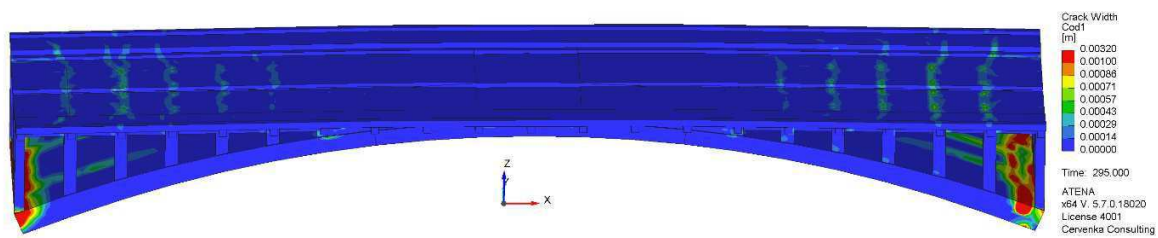
Obr. 3-89 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



Obr. 3-90 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora

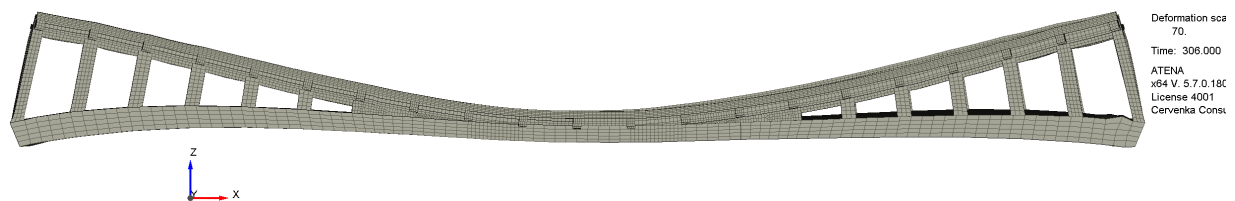


Obr. 3-91 Šířka trhlin v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

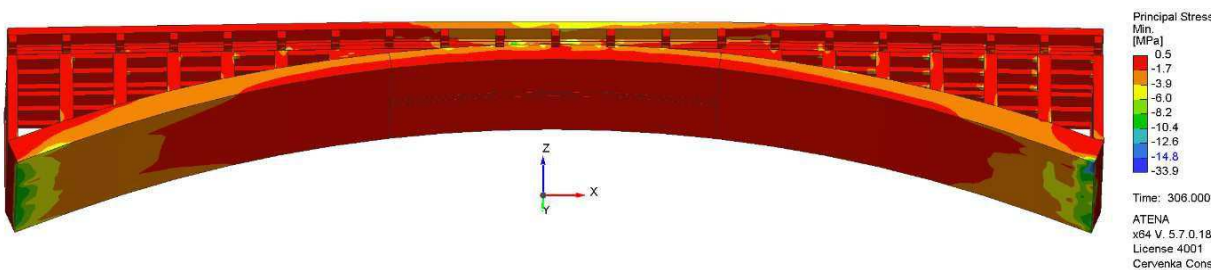


Obr. 3-92 Šířka trhlin v betonu pro model E – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro stojky, axonometrie shora

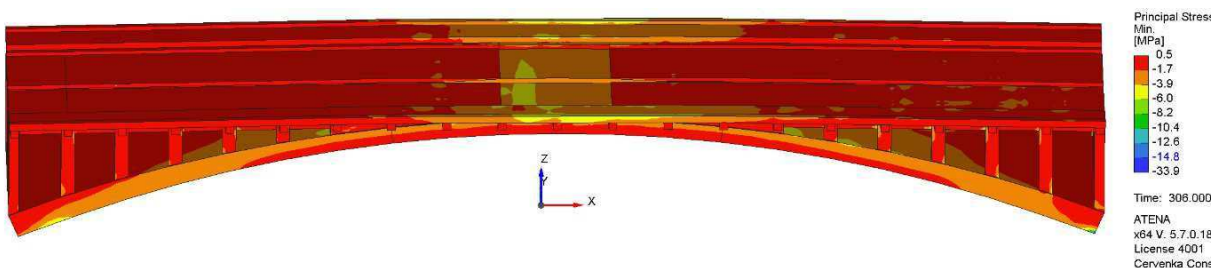
### 3.1.5.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 70.34t



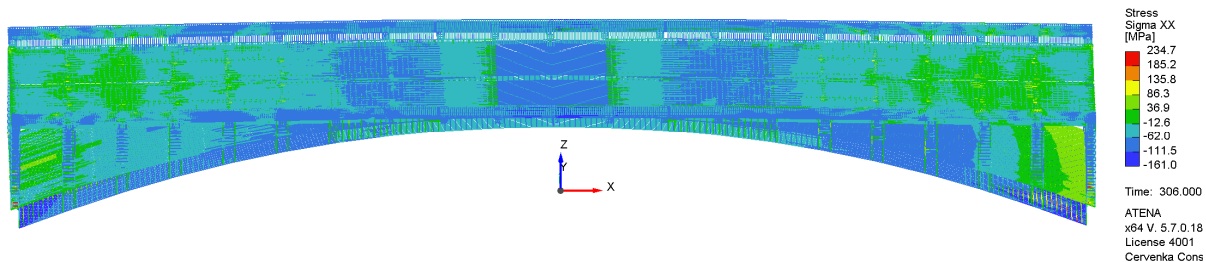
Obr. 3-93 Deformovaný tvar pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky



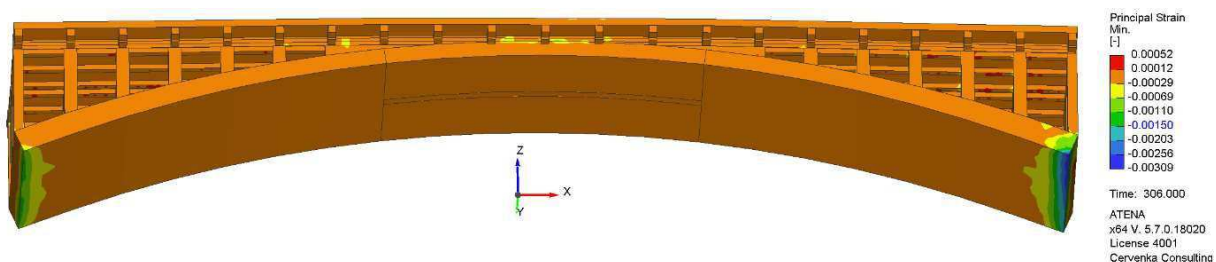
Obr. 3-94 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



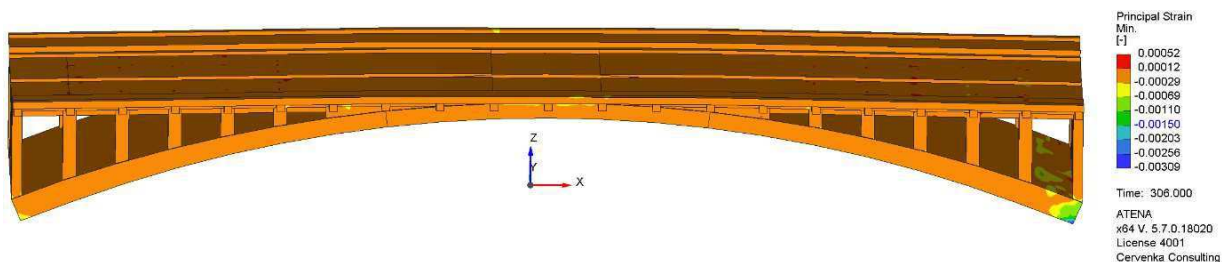
Obr. 3-95 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora



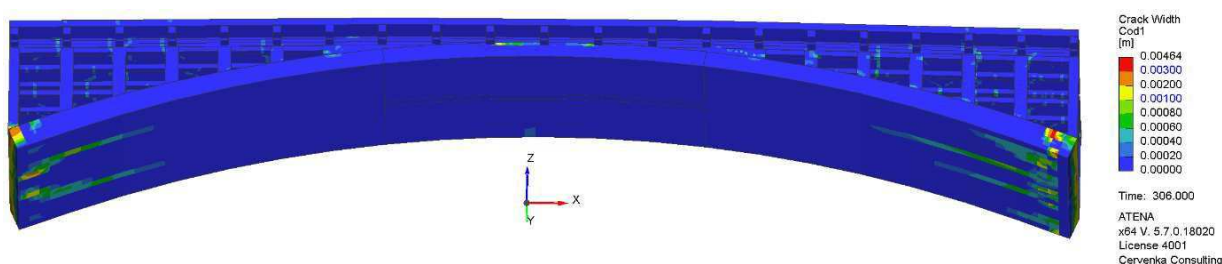
Obr. 3-96 Napětí ve výztuži pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky



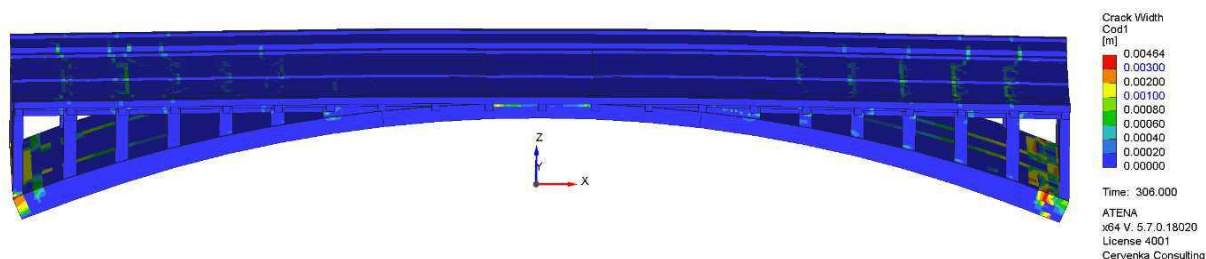
Obr. 3-97 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod



Obr. 3-98 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora



Obr. 3-99 Šířka trhlin v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie zespod

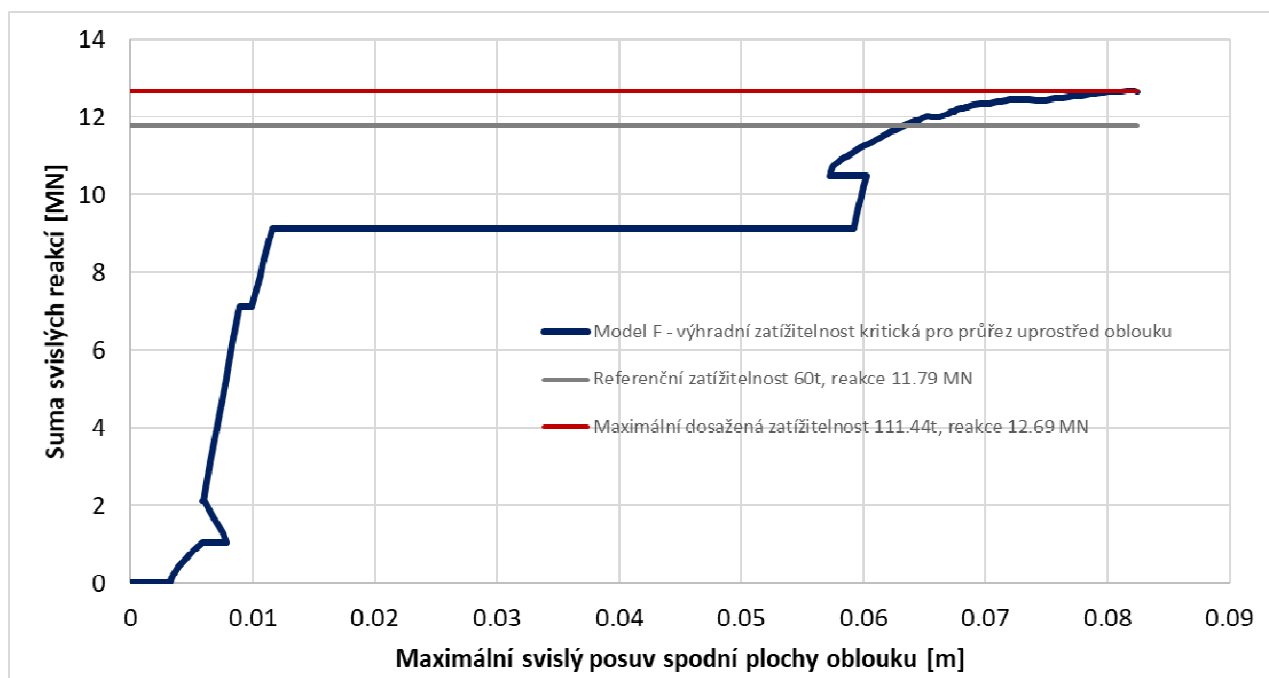


Obr. 3-100 Šířka trhlin v betonu pro model E – maximální výhradní zatížitelnost 70.34t - kritická pro stojky, axonometrie shora

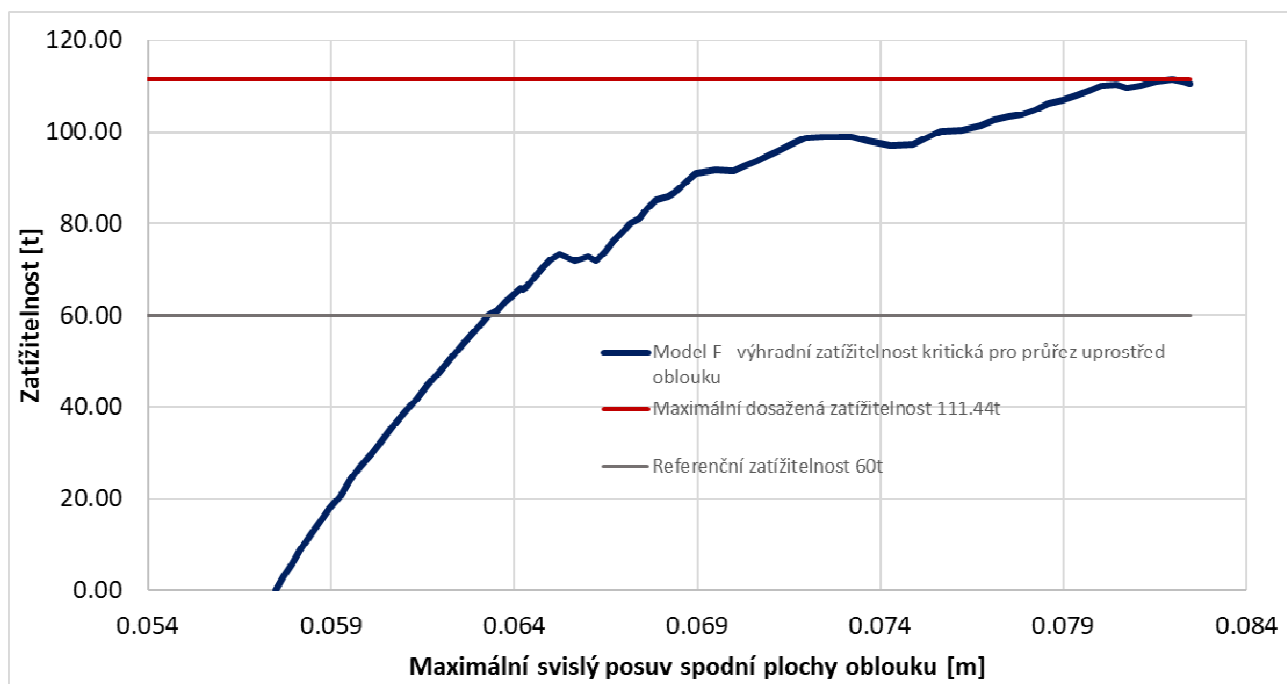
### 3.1.6 Model F – MSÚ – výhradní zatížitelnost – kritická pro průřez uprostřed oblouku

Na Obr. 3-101 je znázorněn L-D diagram pro model F, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-102). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 111.44 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.6.1 jsou uvedeny vybrané grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 60t (Obr. 3-103 - Obr. 3-112).

V kapitole 3.1.6.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-113 - Obr. 3-120). V tomto případě jsou předpoklady z lineárního výpočtu, který předpovídá selhání průřezu uprostřed oblouku, potvrzeny. Konstrukce se skutečně porušuje v tlaku uprostřed rozpětí oblouku na straně jízdního pruhu, který je zatížen. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-113) a koncentrace hlavních tlakových napětí uprostřed rozpětí mostu (Obr. 3-114 - Obr. 3-115). Nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-116) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



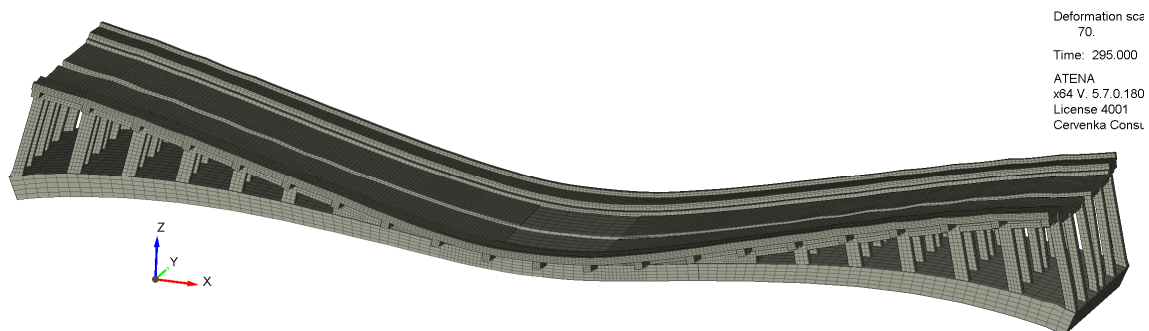
Obr. 3-101 L-D diagram, model F – výhradní zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku



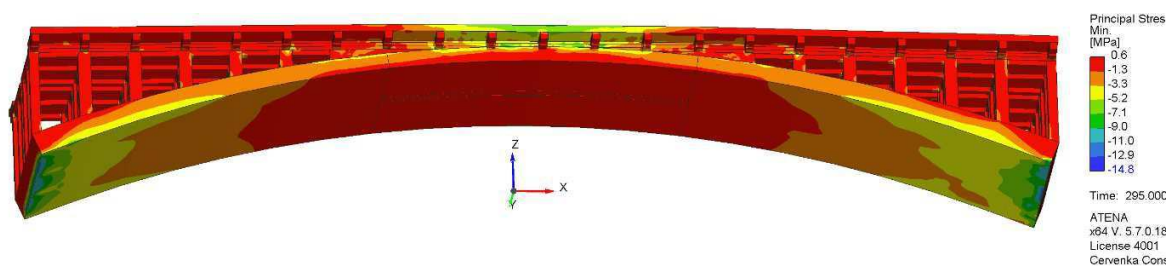
Obr. 3-102 Zatížitelnost, model F – výhradní zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku



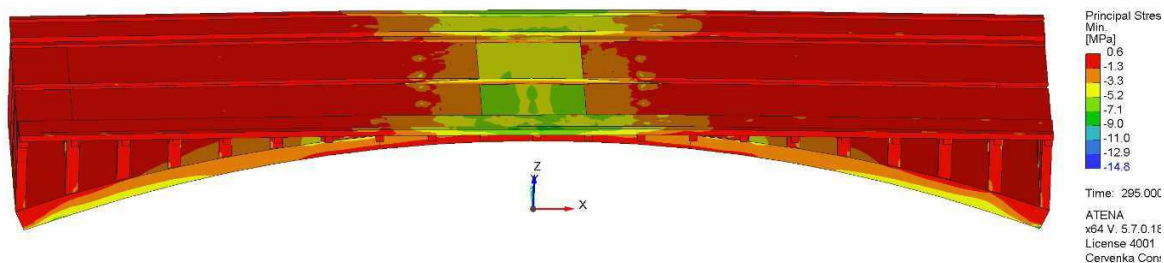
### 3.1.6.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 60t



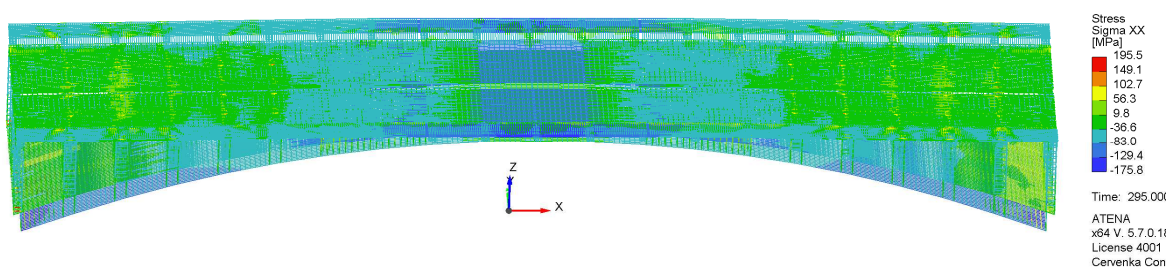
Obr. 3-103 Deformovaný tvar pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



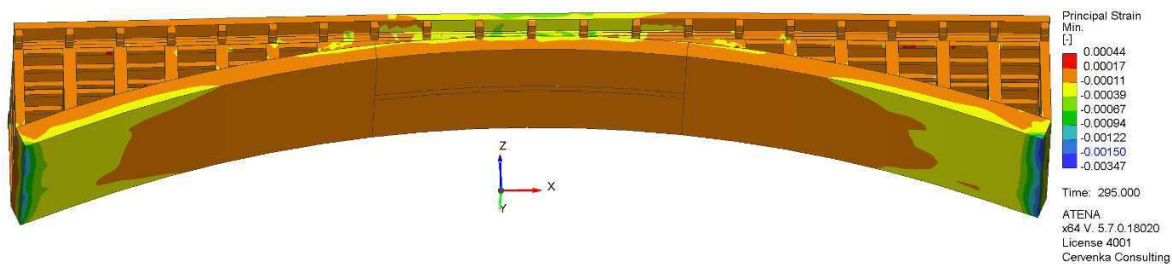
Obr. 3-104 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



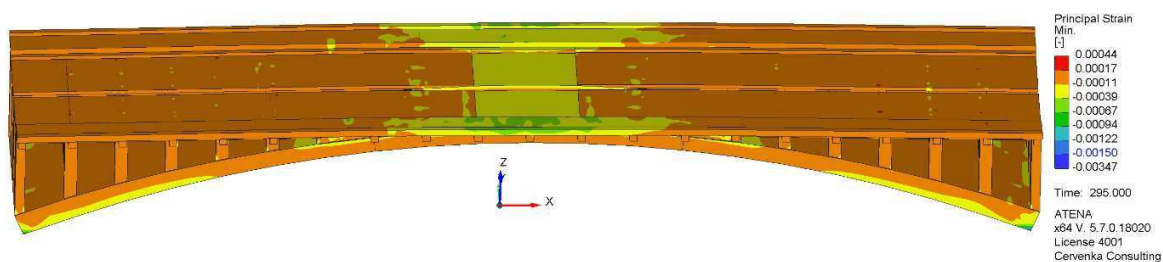
Obr. 3-105 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



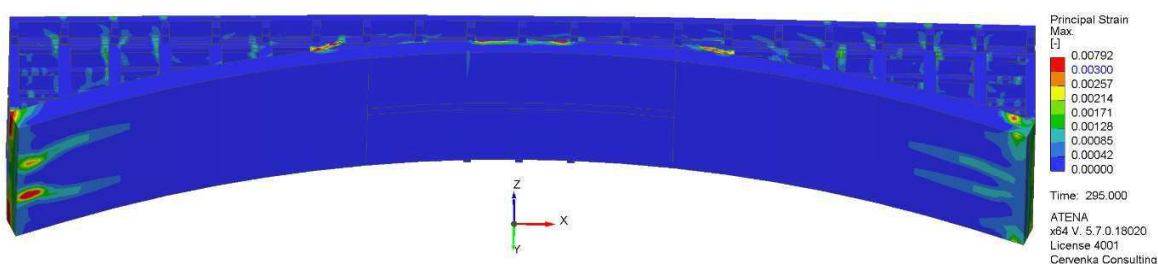
Obr. 3-106 Napětí ve výztuži pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



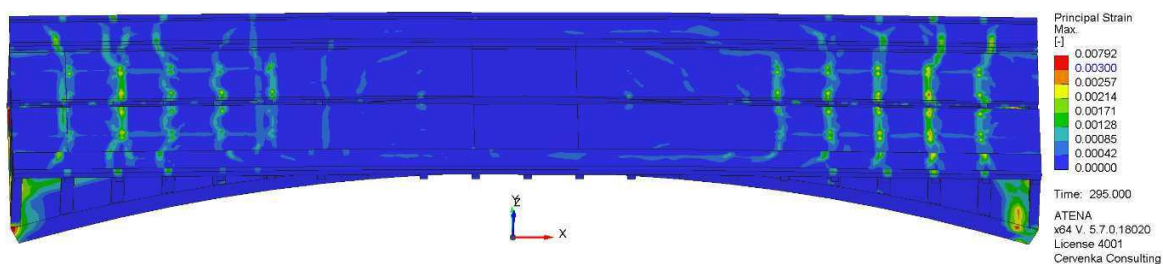
Obr. 3-107 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-108 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

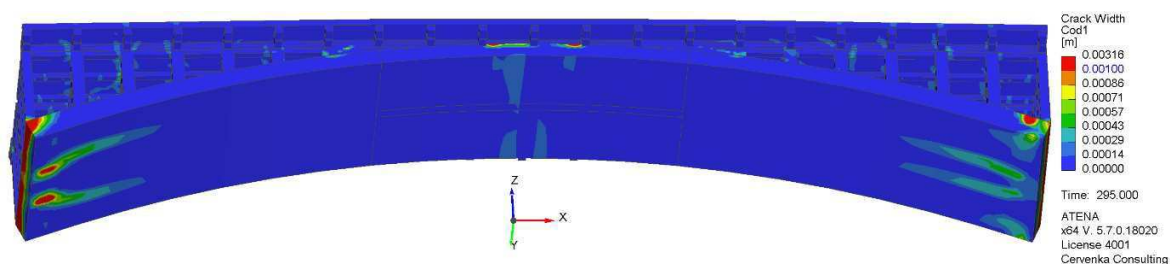


Obr. 3-109 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

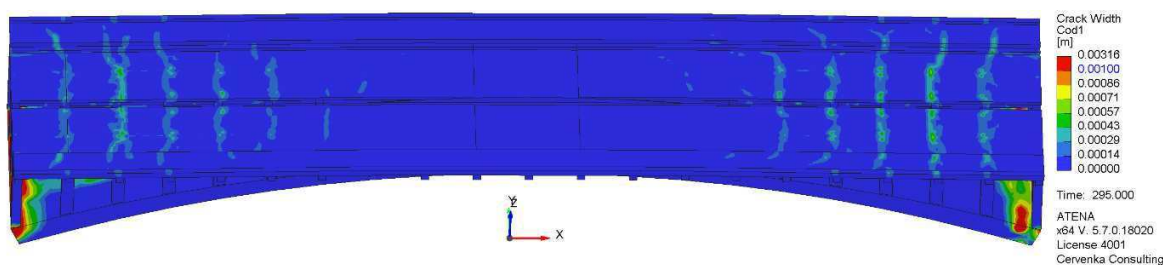


Obr. 3-110 Hlavní tahová přetvoření v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



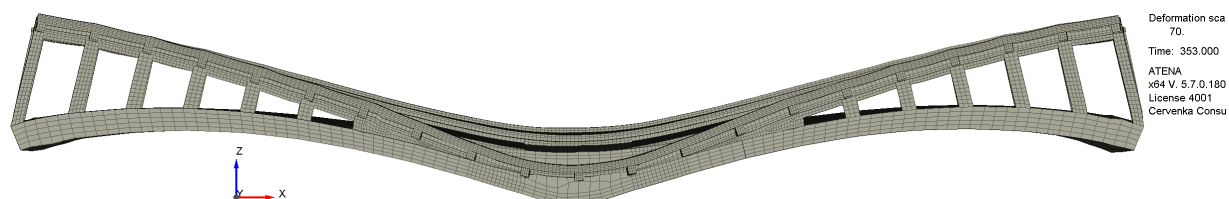


Obr. 3-111 Šířka trhlin v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

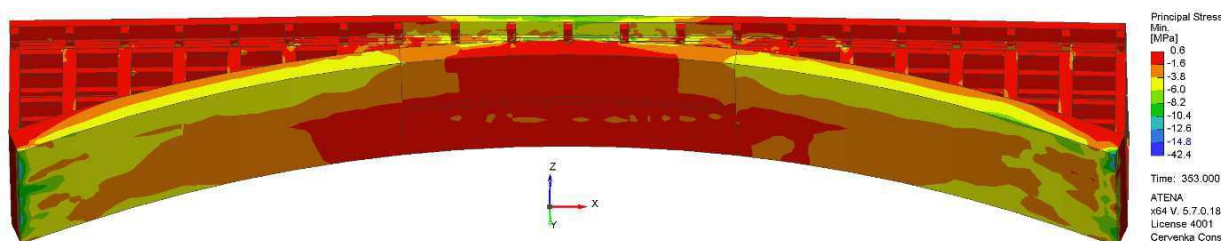


Obr. 3-112 Šířka trhlin v betonu pro model F – výhradní zatížitelnost 60t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

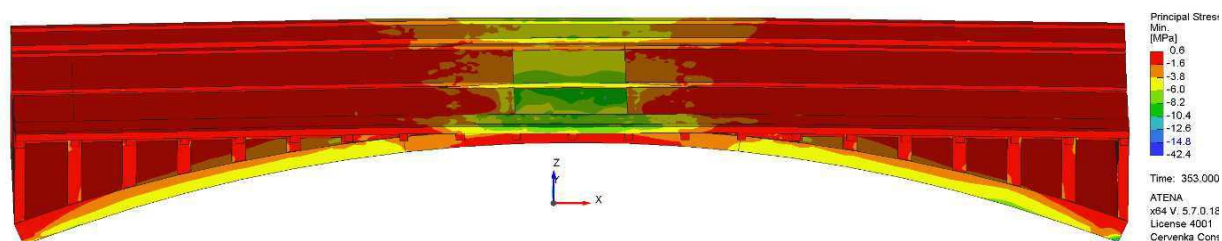
### 3.1.6.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 111.44t



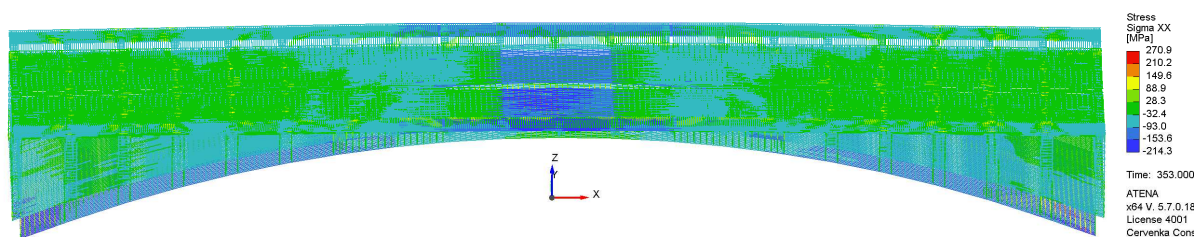
Obr. 3-113 Deformovaný tvar pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



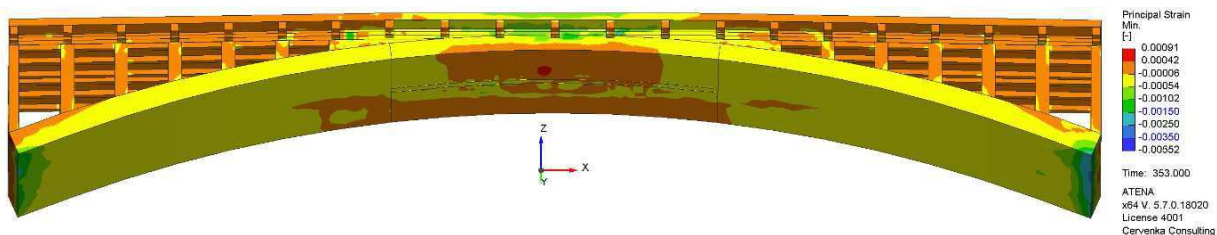
Obr. 3-114 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



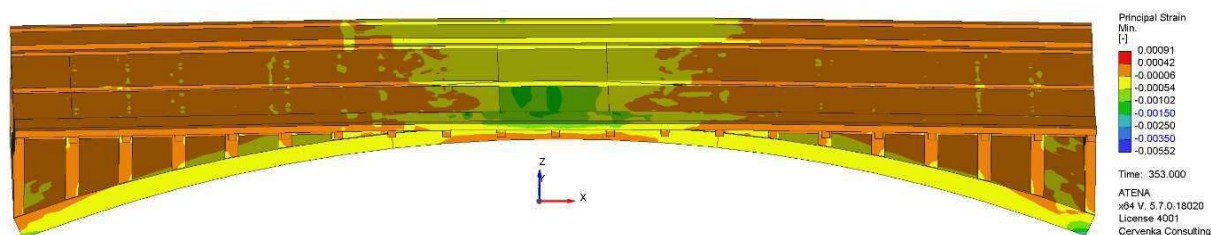
Obr. 3-115 Hlavní tlaková napětí v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



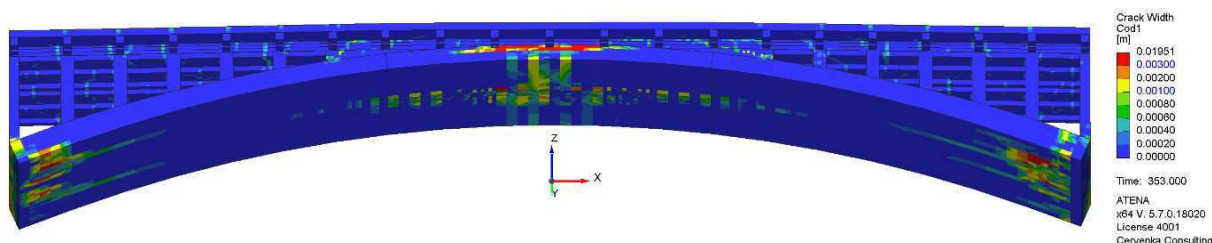
Obr. 3-116 Napětí ve výztuži pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



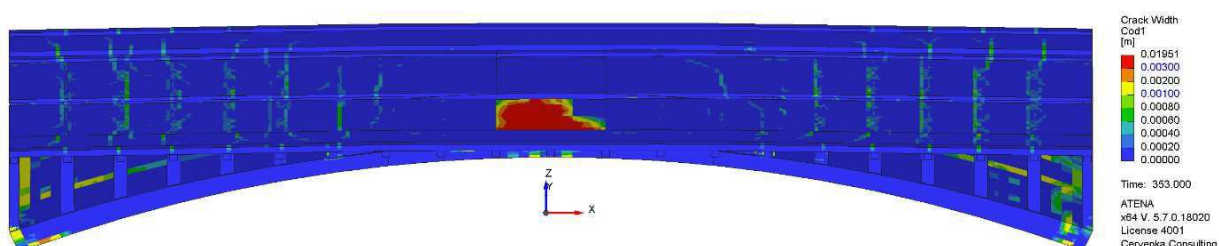
Obr. 3-117 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-118 Hlavní tlaková přetvoření v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-119 Šířka trhlin v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



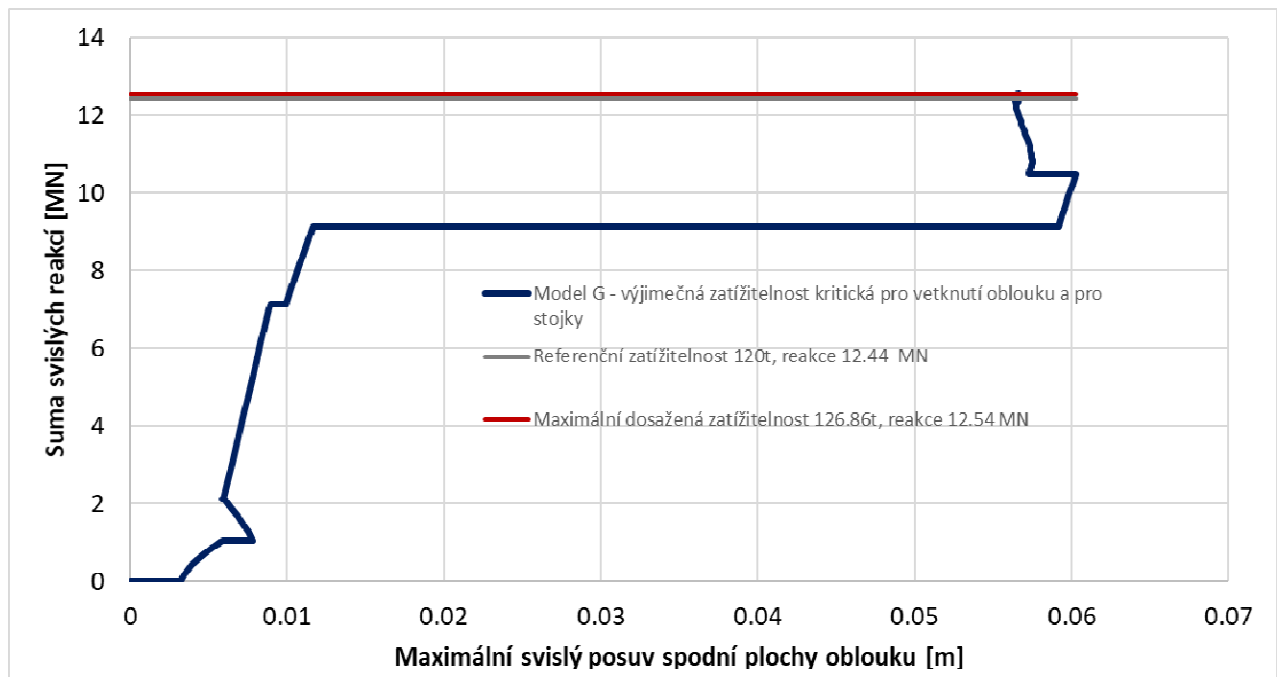
Obr. 3-120 Šířka trhlin v betonu pro model F – maximální výhradní zatížitelnost 111.44t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

### 3.1.7 Model G – MSÚ – výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky

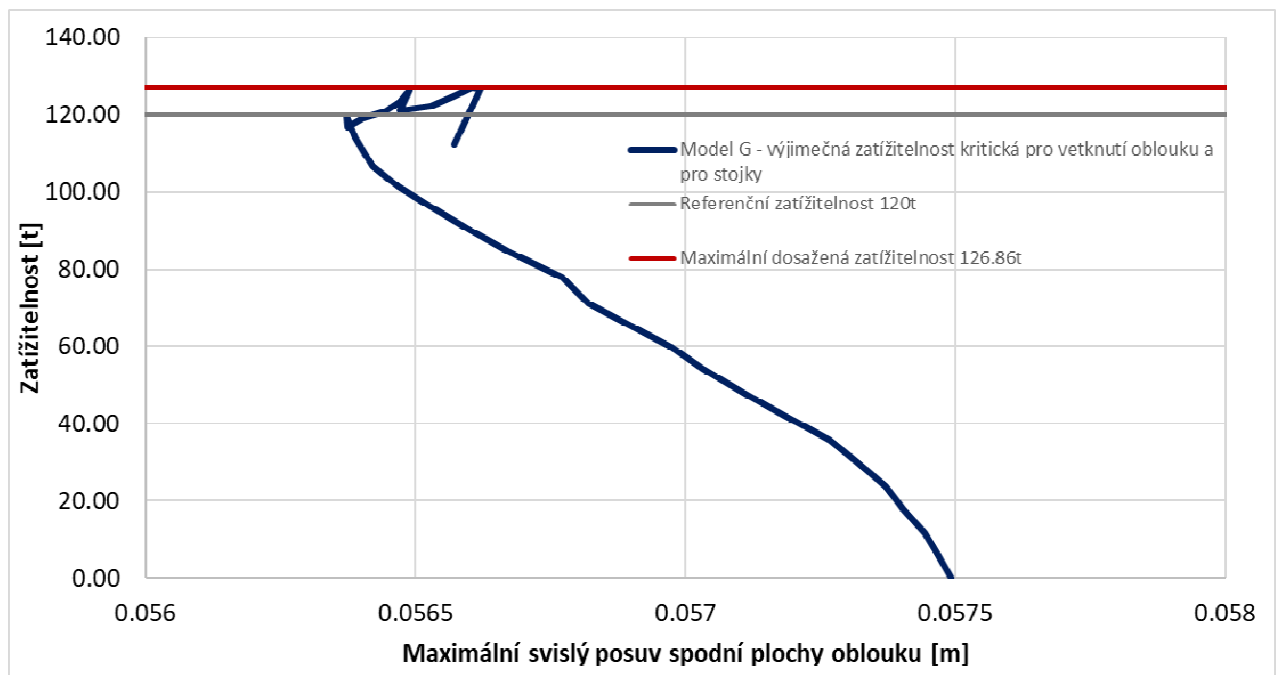
Na Obr. 3-121 je znázorněn L-D diagram pro model G, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-122). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 126.86 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.7.1 jsou uvedeny výše zmíněné grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 120t (Obr. 3-123 - Obr. 3-132).

V kapitole 3.1.7.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-133 - Obr. 3-140). Konstrukce se v tomto případě porušuje v tlaku, a to v oblasti pravého vetknutí oblouku. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-133).

Hlavní tlaková napětí (Obr. 3-134 - Obr. 3-135) dosahují v oblasti pravého vetknutí oblouku hodnot pevnosti betonu v tlaku (14.8 MPa pro oblouk) a hlavní tlaková poměrná přetvoření (Obr. 3-137 - Obr. 3-138) v tomto místě již dosahují hodnot, při kterých je beton považován za rozdrčený (0.0035). Naopak nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-136) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



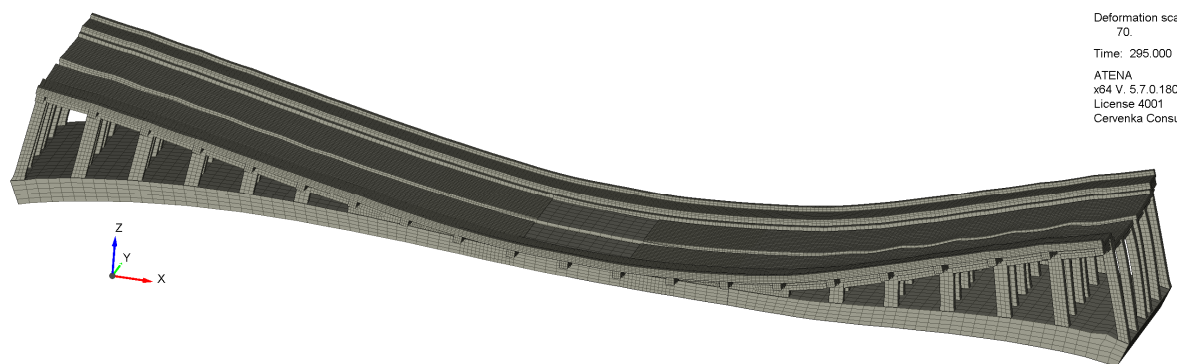
Obr. 3-121 L-D diagram, model G – výjimečná zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



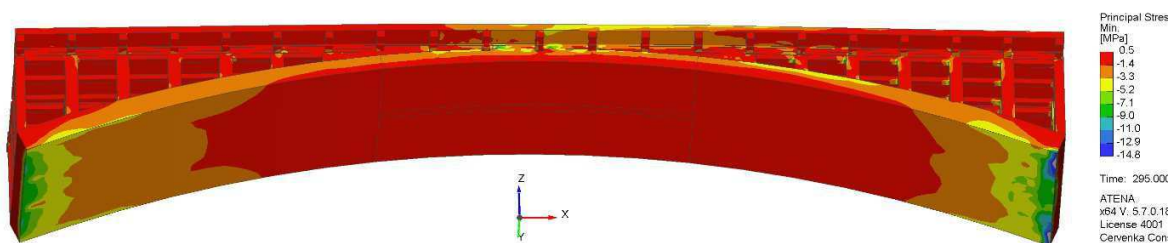
Obr. 3-122 Zatížitelnost, model G – výjimečná zatížitelnost - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky

### 3.1.7.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 120t

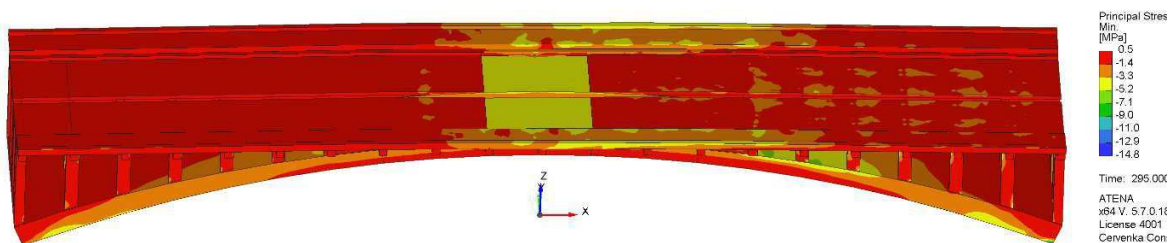




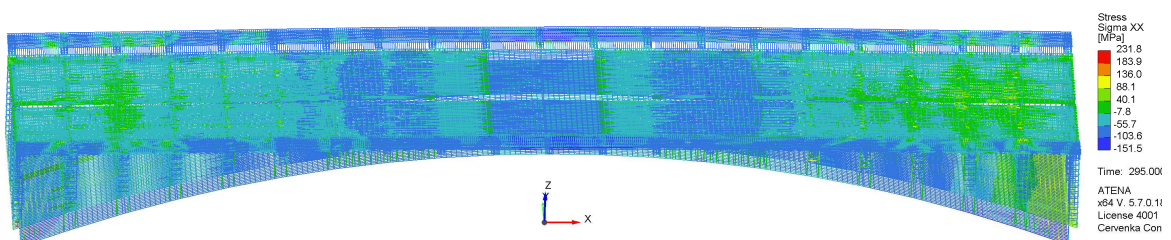
Obr. 3-123 Deformovaný tvar, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



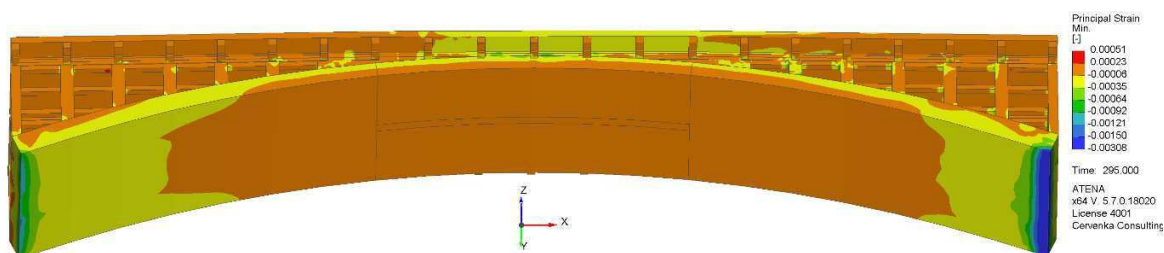
Obr. 3-124 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod



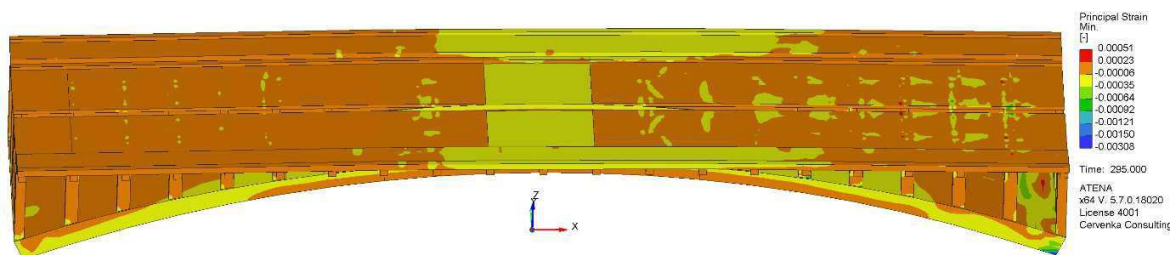
Obr. 3-125 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora



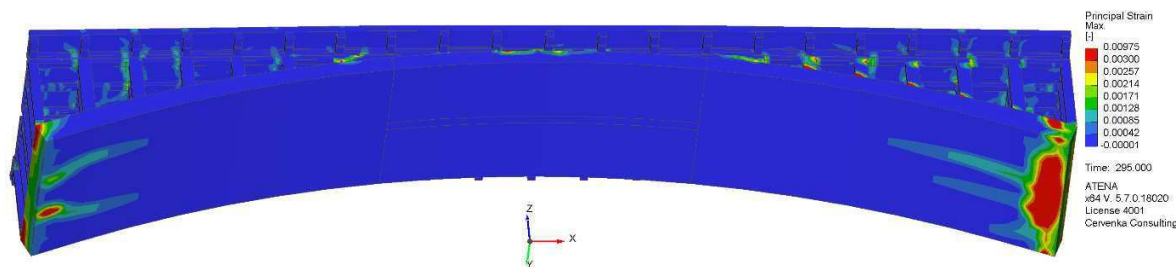
Obr. 3-126 Napětí ve výztuži, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



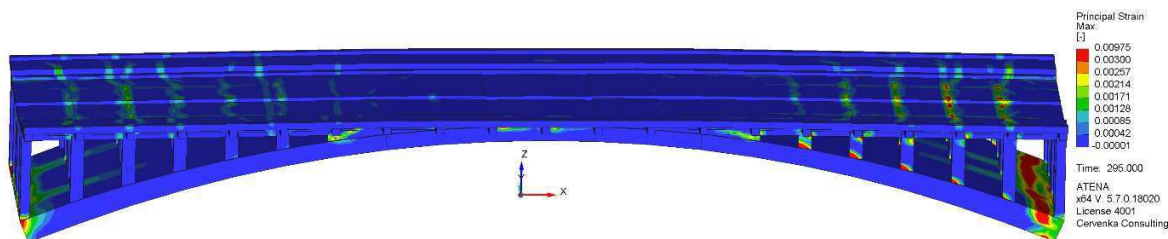
Obr. 3-127 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod



Obr. 3-128 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora

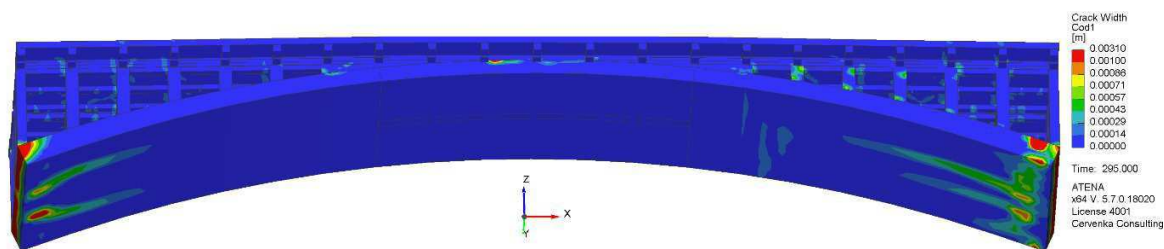


Obr. 3-129 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod

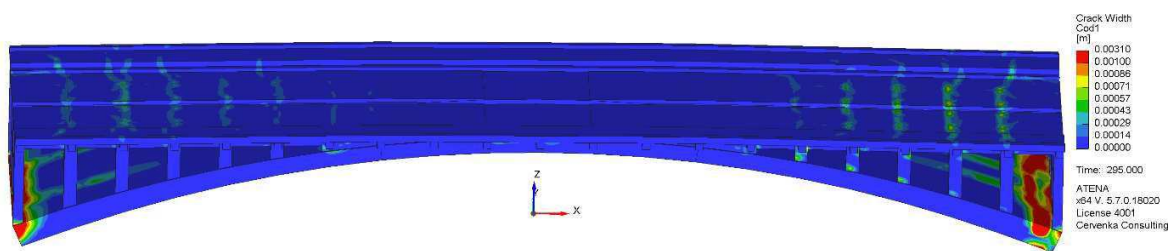


Obr. 3-130 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora



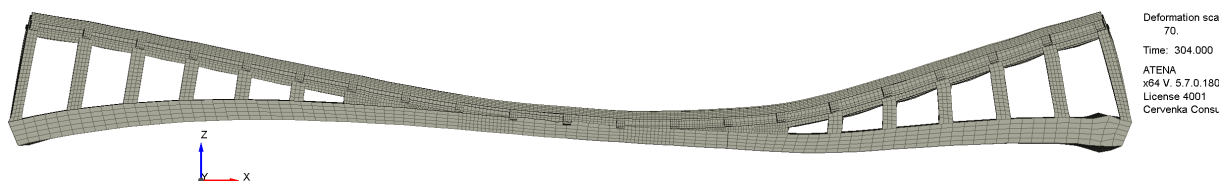


Obr. 3-131 Šířka trhlin v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod

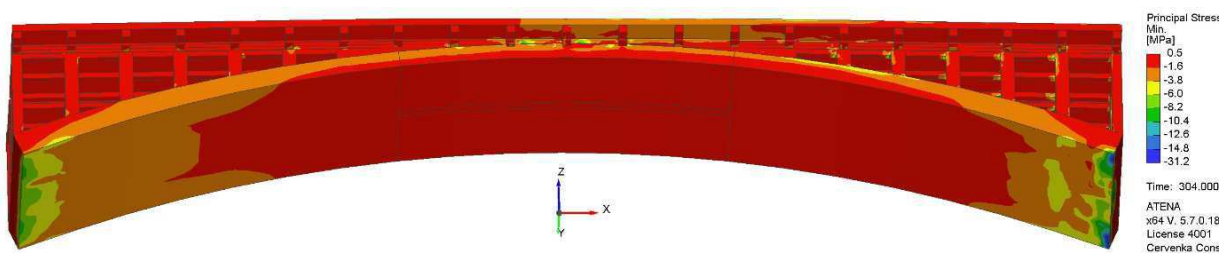


Obr. 3-132 Šířka trhlin v betonu, model G – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora

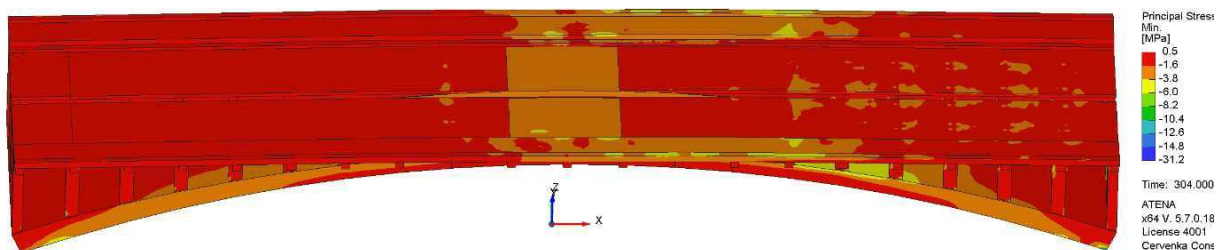
### 3.1.7.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 126.86t



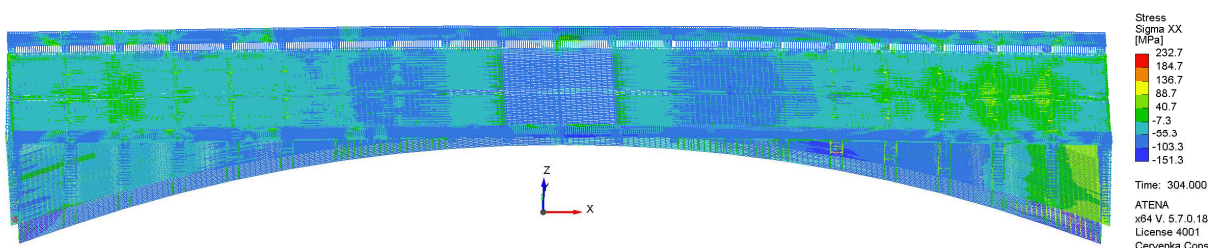
Obr. 3-133 Deformovaný tvar, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



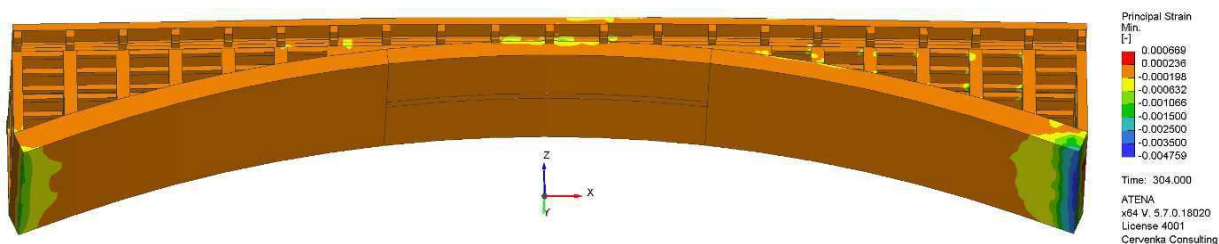
Obr. 3-134 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod



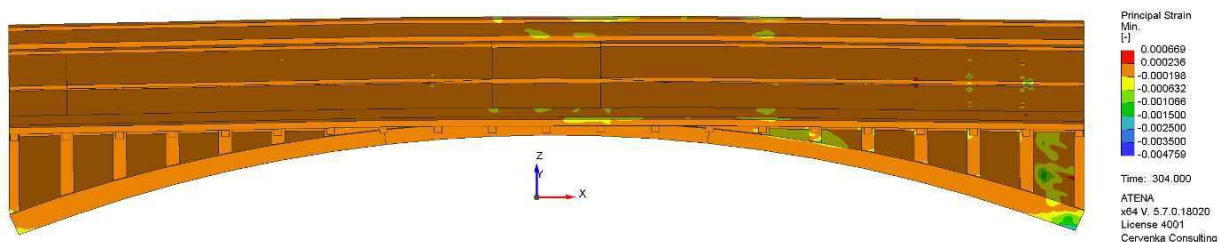
Obr. 3-135 Hlavní tlaková napětí v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora



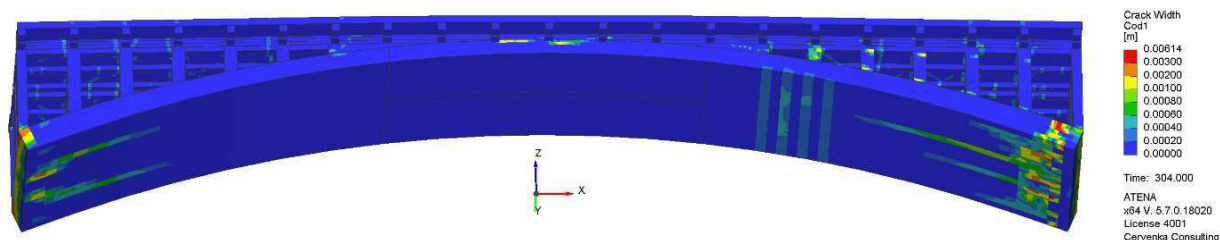
Obr. 3-136 Napětí ve výztuži, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



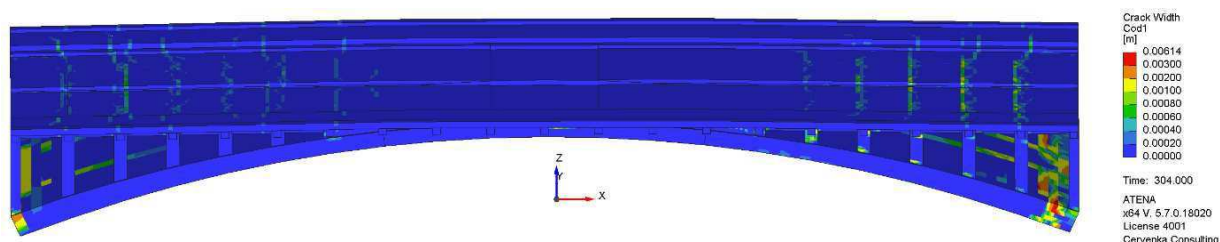
Obr. 3-137 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod



Obr. 3-138 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora



Obr. 3-139 Šířka trhlin v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie zespod

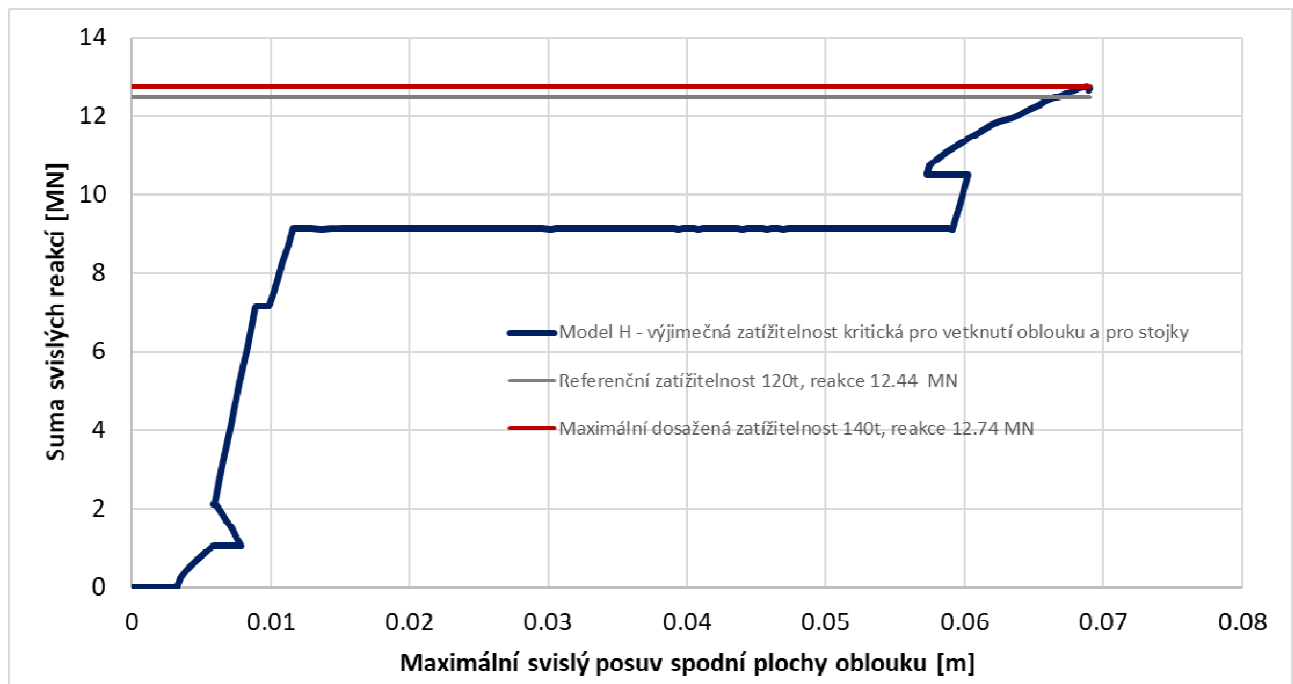


Obr. 3-140 Šířka trhlin v betonu, model G – maximální výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky, axonometrie shora

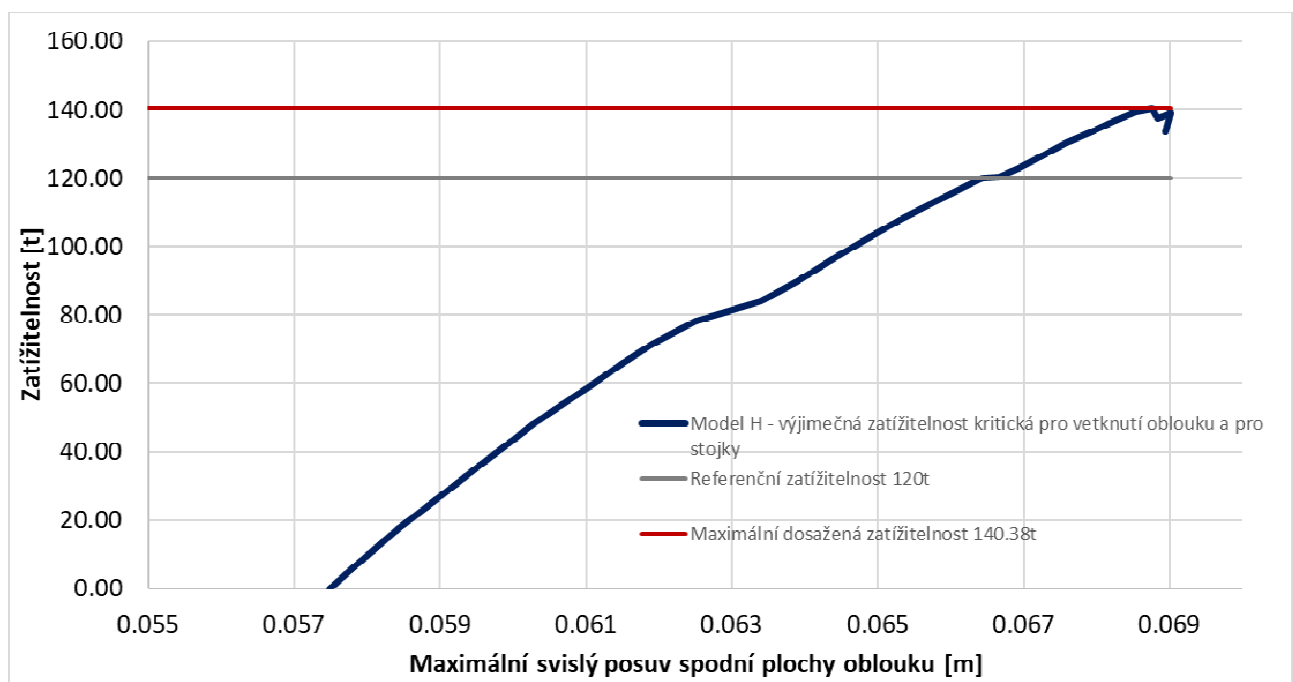
### 3.1.8 Model H - MSÚ - výjimečná zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku

Na Obr. 3-141 je znázorněn L-D diagram pro model H, který je dále přepočítán na hodnoty zatížitelnosti (viz. Obr. 3-142). Pro tuto variantu rozmístění zatížení bylo dosaženo maximální hodnoty zatížitelnosti 140 t (chyba v konvergenci do 1%). V kapitole 3.1.8.1 jsou uvedeny vybrané grafické výstupy pro základní předpokládanou (referenční) úroveň zatížení 120 t (Obr. 3-143 - Obr. 3-152).

V kapitole 3.1.8.2 jsou dále uvedeny tytéž grafické výstupy pro maximální dosaženou hodnotu zatížitelnosti (Obr. 3-153 - Obr. 3-160). V tomto případě jsou předpoklady z lineárního výpočtu, který předpovídá selhání průřezu uprostřed oblouku, potvrzeny. Konstrukce se skutečně porušuje v tlaku uprostřed rozpětí oblouku. Uvedenému módu porušení nasvědčuje deformovaný tvar konstrukce pro úroveň maximální hodnoty zatížitelnosti (Obr. 3-153) a koncentrace hlavních tlakových napětí uprostřed rozpětí mostu (Obr. 3-154 - Obr. 3-155). Nízké hodnoty napětí ve výztuži (Obr. 3-156) indikují, že výztuž není z důvodu omezené soudržnosti s betonem plně aktivována.



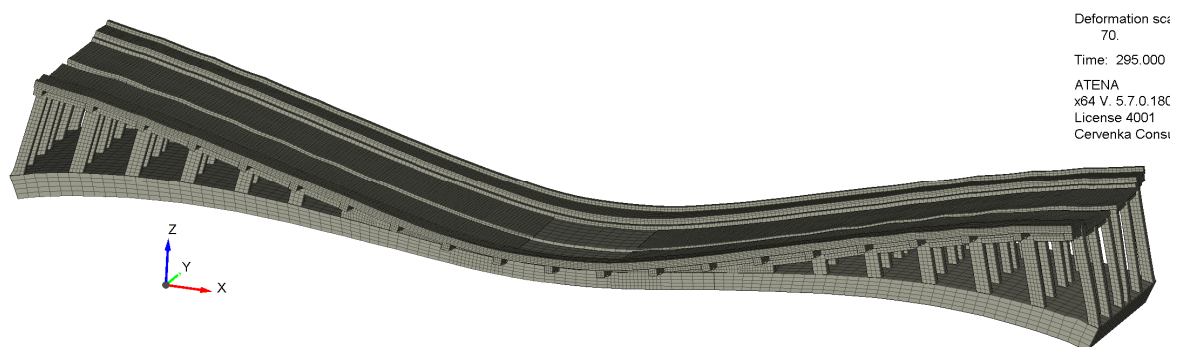
Obr. 3-141 L-D diagram, model H – výjimečná zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku



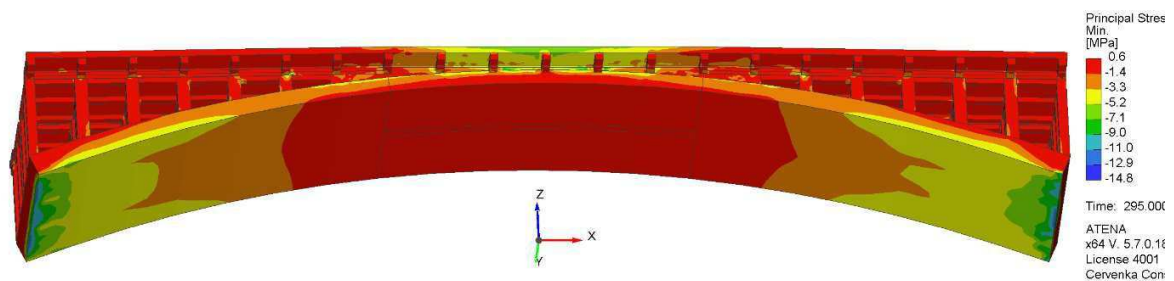
Obr. 3-142 Zatížitelnost, model H – výjimečná zatížitelnost - kritická pro průřez uprostřed oblouku

### 3.1.8.1 Výsledky pro referenční úroveň zatížitelnosti 120t

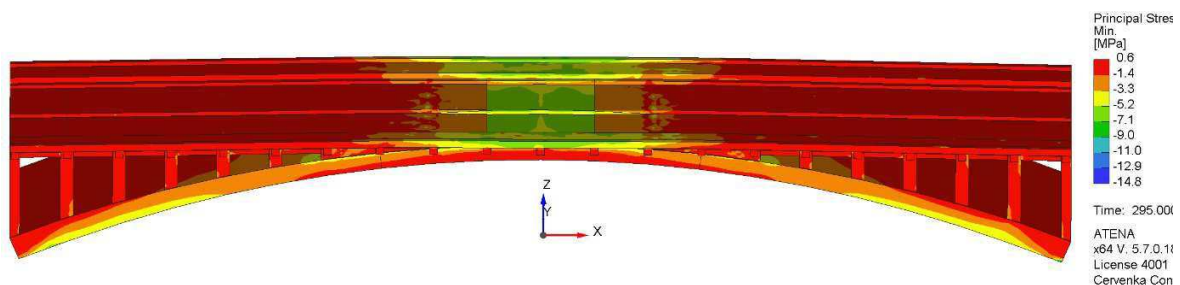




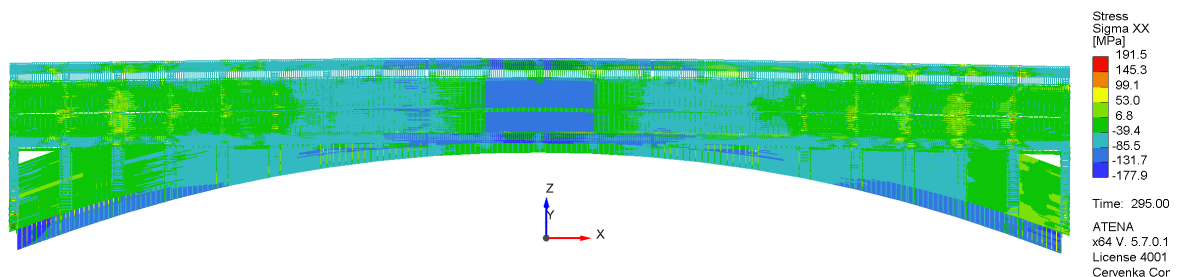
Obr. 3-143 Deformovaný tvar, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



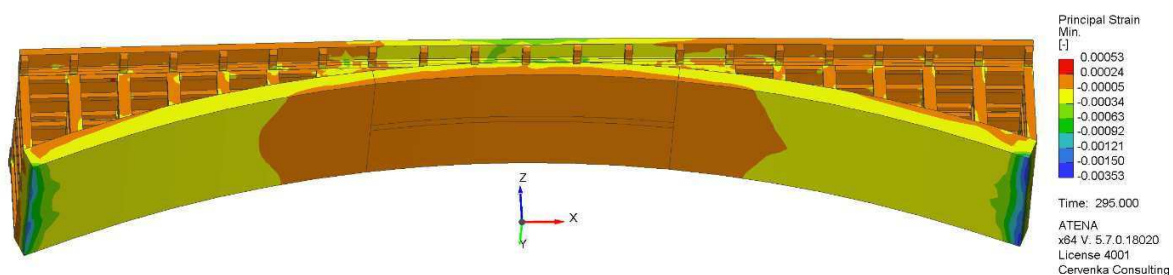
Obr. 3-144 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



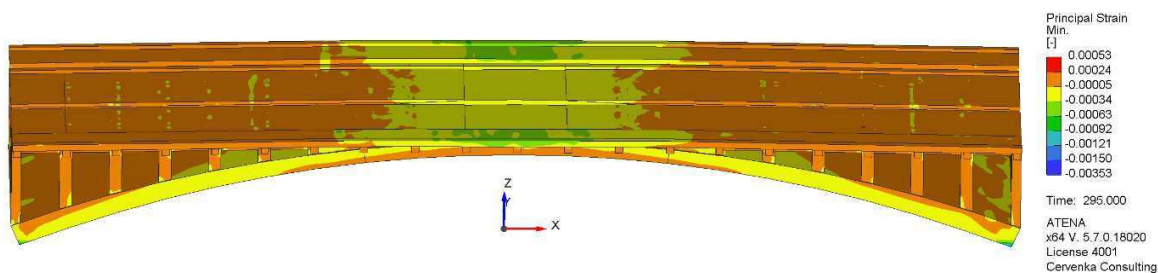
Obr. 3-145 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



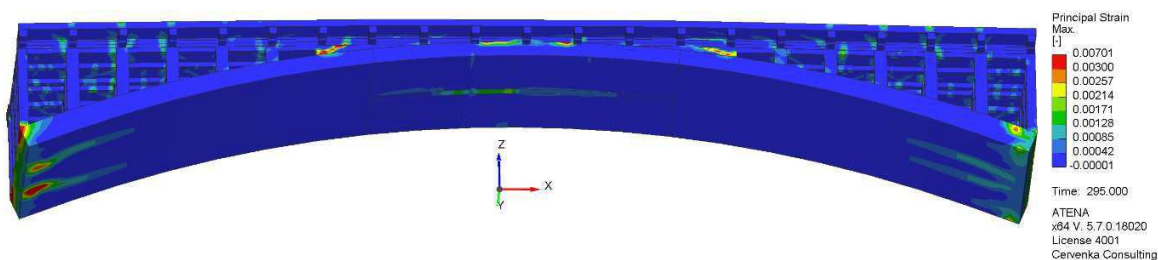
Obr. 3-146 Napětí ve výztuži, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



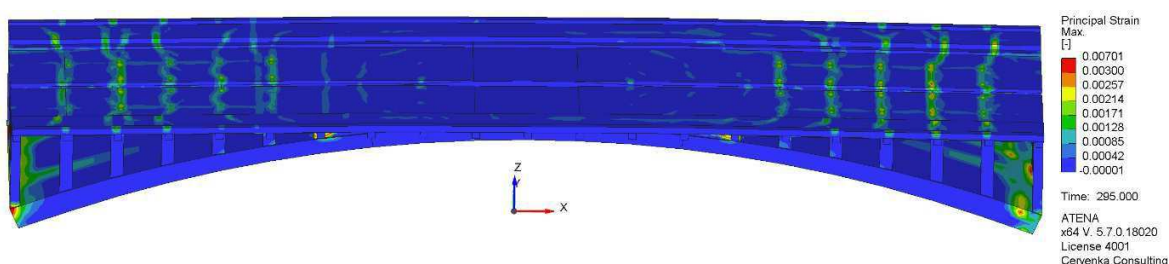
Obr. 3-147 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-148 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

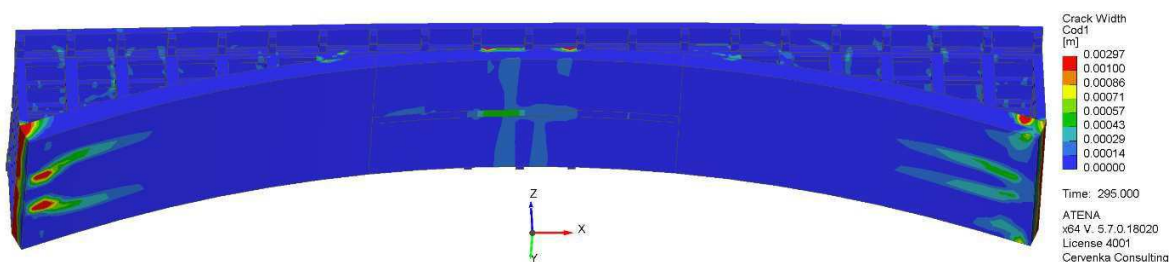


Obr. 3-149 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

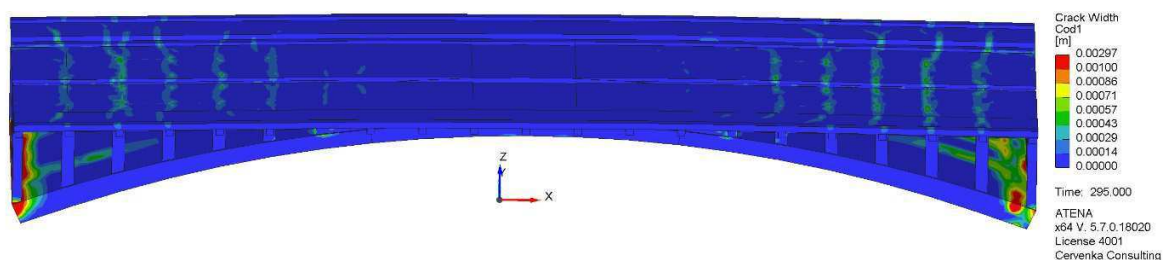


Obr. 3-150 Hlavní tahová přetvoření v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



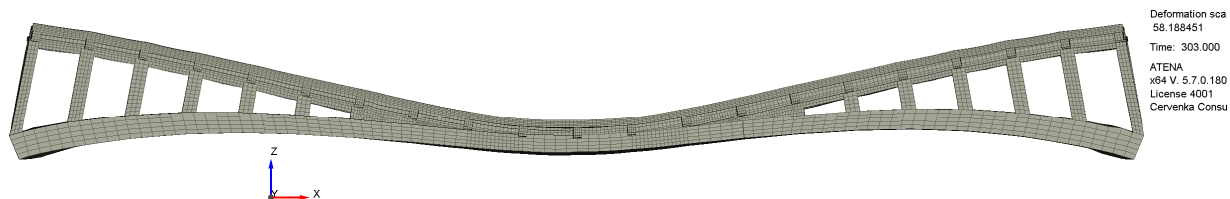


Obr. 3-151 Šířka trhlin v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod

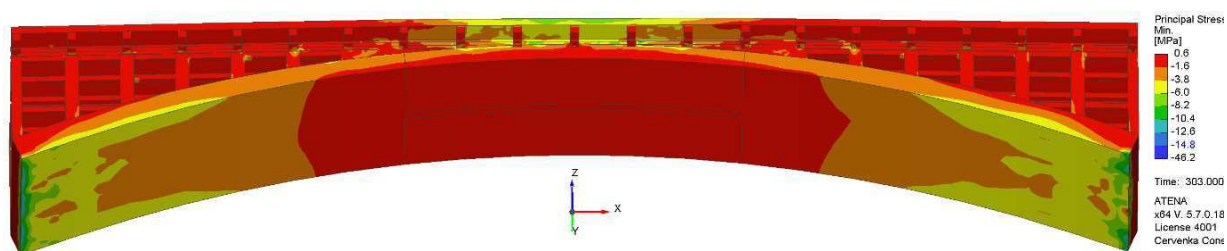


Obr. 3-152 Šířka trhlin v betonu, model H – výjimečná zatížitelnost 120t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

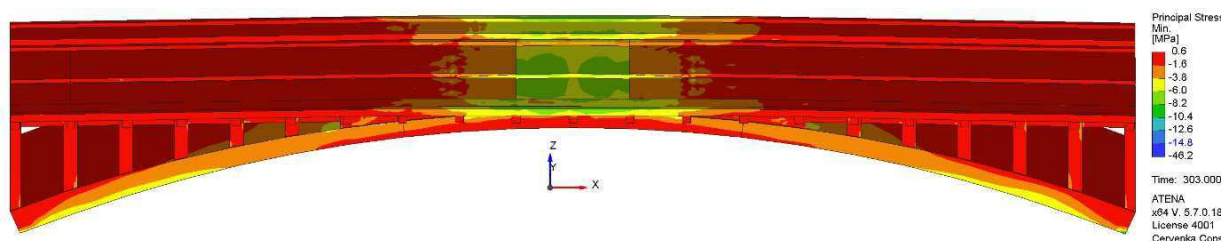
### 3.1.8.2 Výsledky pro maximální dosaženou úroveň zatížitelnosti 140t



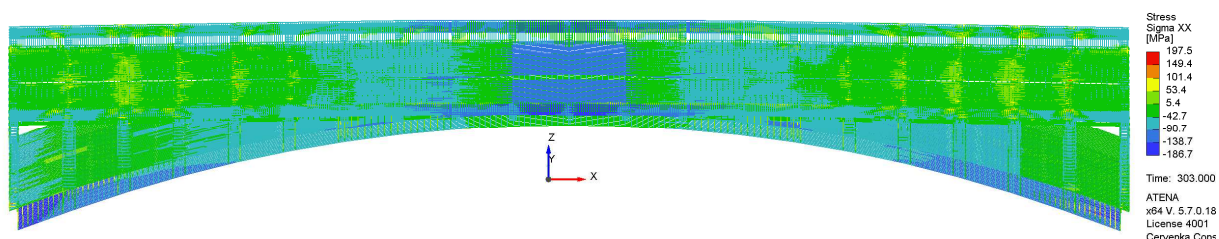
Obr. 3-153 Deformovaný tvar, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



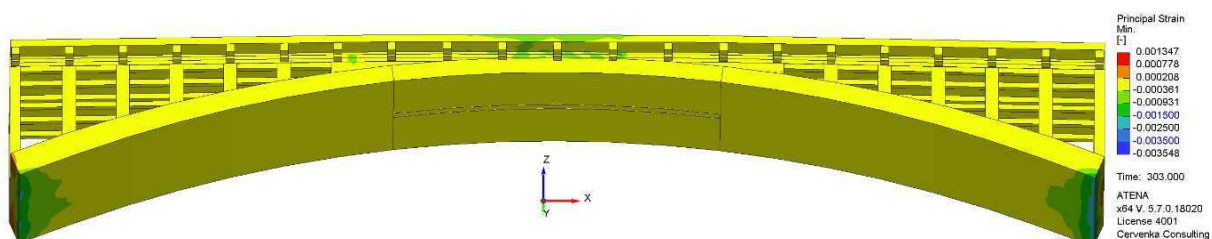
Obr. 3-154 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



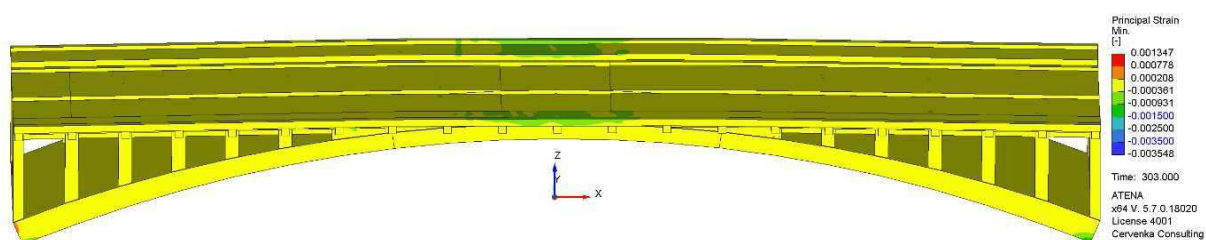
Obr. 3-155 Hlavní tlaková napětí v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



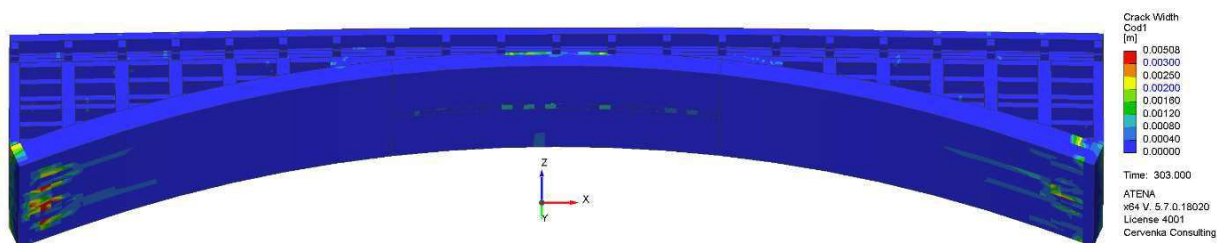
Obr. 3-156 Napětí ve výztuži, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku



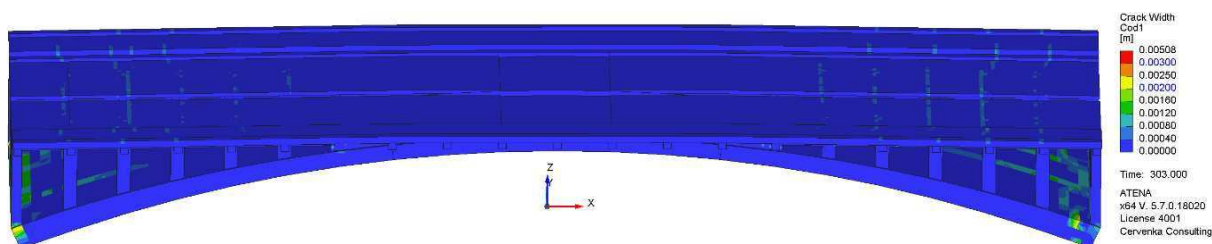
Obr. 3-157 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-158 Hlavní tlaková přetvoření v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-159 Šířka trhlin v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie zespod



Obr. 3-160 Šířka trhlin v betonu, model H – maximální výjimečná zatížitelnost 140.38t - kritická pro průřez uprostřed oblouku, axonometrie shora

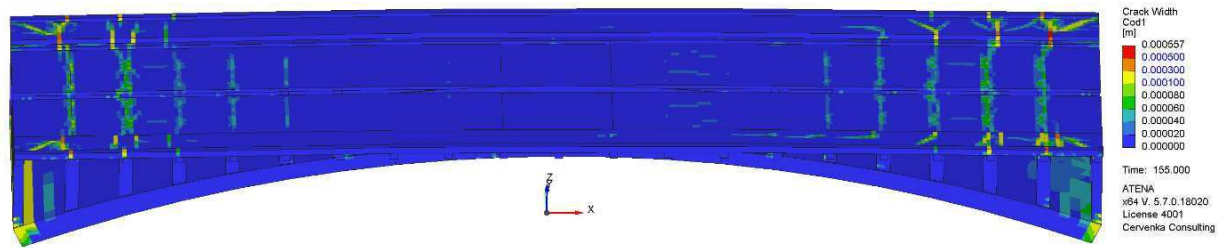
### 3.2 MSP

Z hlediska MSP si tato zpráva klade za cíl posoudit šířku trhlin pro stav zatížení konstrukce odpovídající kvazistálé a charakteristické kombinaci zatížení (kapitola 2.3.1.2). Zatížení na úroveň kvazistálé kombinace je společné pro všechny modely a jemu odpovídající stav trhlin na konstrukci je dokumentován v kapitole 3.2.1. Z Obr. 3-164 - Obr. 3-166 je patrné, že pro tento stav zatížení se nejčastěji šířka trhlin pohybuje v rozmezí od 0,08 mm do 0,1 mm, méně často od 0,1 mm do 0,3 mm, výjimečně od 0,3 mm do 0,5 mm a maximální šířka trhliny, která se vyskytuje v desce mostovky nad druhou řadou stojek, je 0,88 mm.

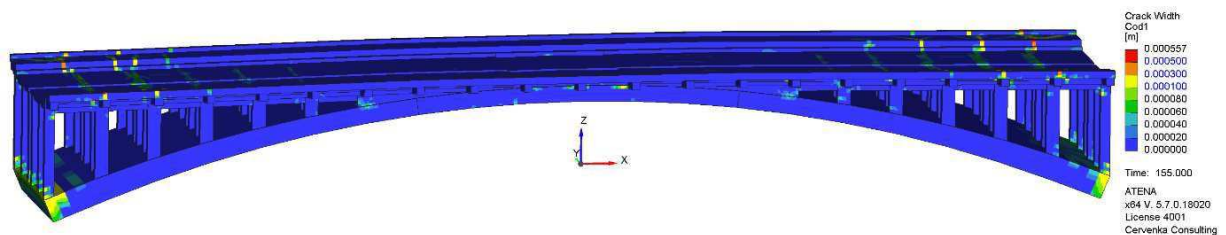
Dále následuje přetížení na úroveň charakteristické kombinace pro rozhodující varianty zatížení z posouzení stavu MSÚ. Výsledný stav trhlin je pro všechny rozhodující varianty velice podobný a je dokumentován v kapitolách 3.2.3 - 3.2.5 na Obr. 3-167 - Obr. 3-175. Největší maximální šířka trhliny se vyskytuje v modelu I, který je dokumentován v kapitole 3.2.3. Z Obr. 3-167 - Obr. 3-169 je patrné, že stav trhlin pro charakteristickou kombinaci je velice podobný stavu trhlin pro kvazistálou kombinaci s tím rozdílem, že maximální šířka trhliny dosahuje až 1 mm.

Pro možnost porovnání, jaký nárůst v šířce trhlin způsobuje vliv teploty, je také uveden stav trhlin pro úroveň, kdy konstrukce je zatížena pouze stálým zatížením a smrštěním (viz. Obr. 3-161 - Obr. 3-163, kapitola 3.2.1).

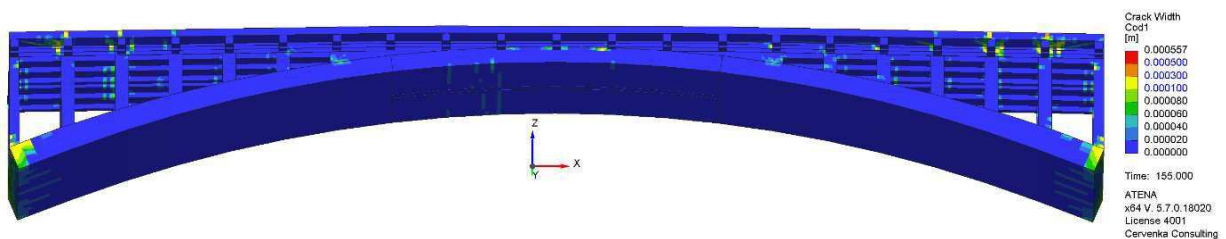
### 3.2.1 MSP – pouze smrštění a stálá zatížení



Obr. 3-161 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie shora

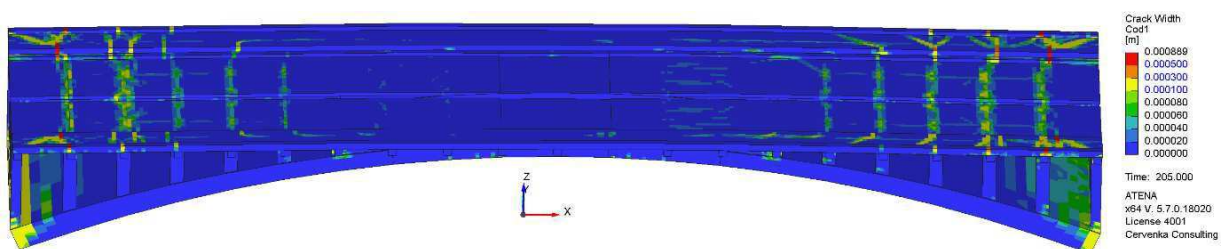


Obr. 3-162 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie z boku



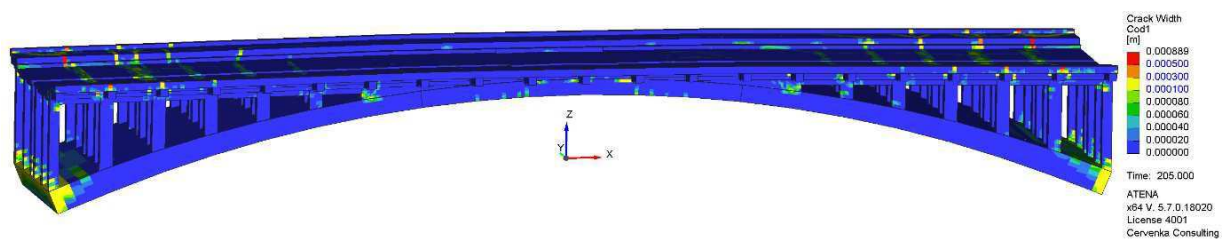
Obr. 3-163 Šířka trhlin v betonu, pouze smrštění a stálá zatížení, axonometrie zespod

### 3.2.2 MSP – kvazistálá kombinace

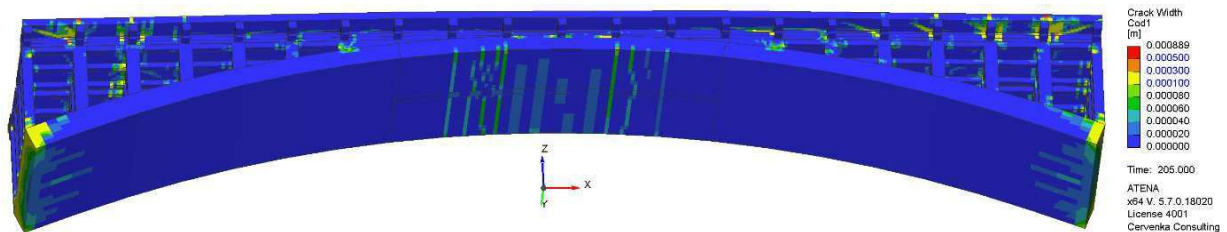


Obr. 3-164 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie shora



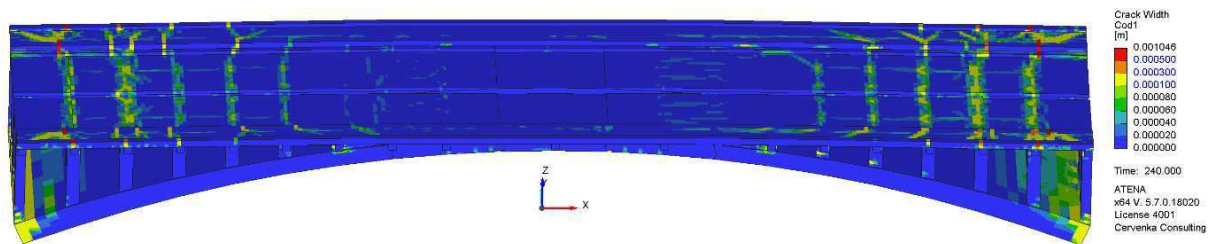


Obr. 3-165 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie z boku

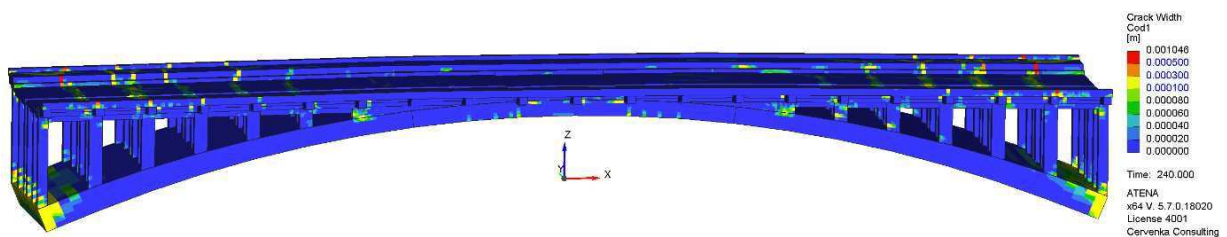


Obr. 3-166 Šířka trhlin v betonu, kvazistálá kombinace, axonometrie zespod

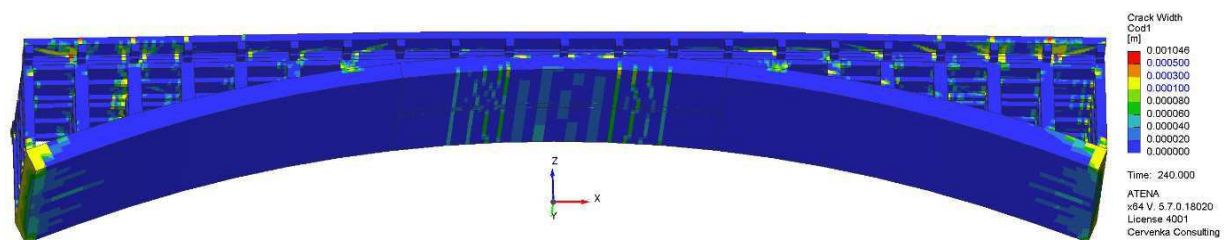
### 3.2.3 Model I – MSP charakteristická kombinace – normální zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku



Obr. 3-167 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora

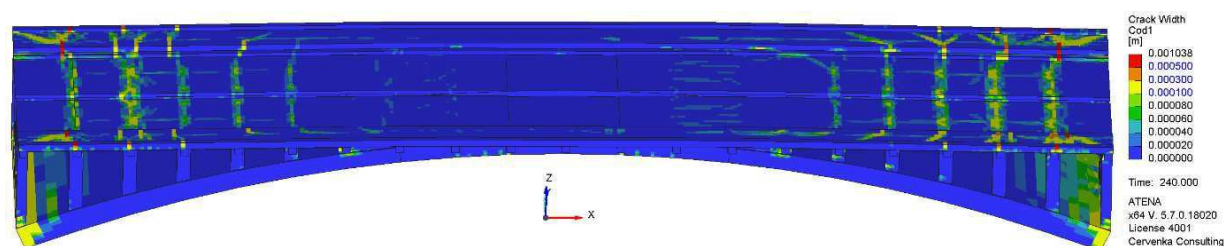


Obr. 3-168 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku

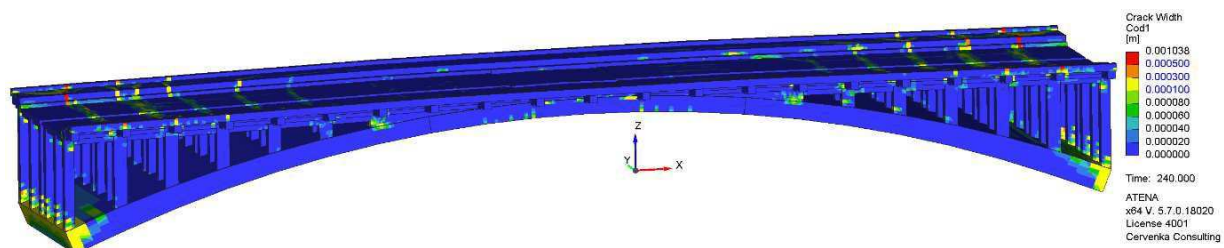


Obr. 3-169 Šířka trhlin v betonu, model I – normální zatížitelnost 28.35t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod

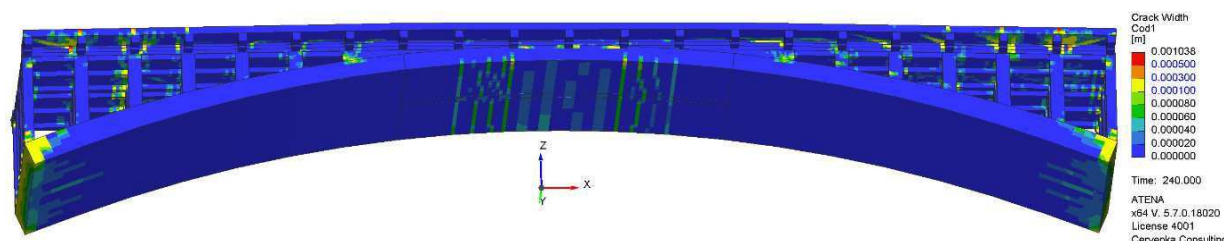
### 3.2.4 Model J – MSP charakteristická kombinace – výhradní zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku



Obr. 3-170 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



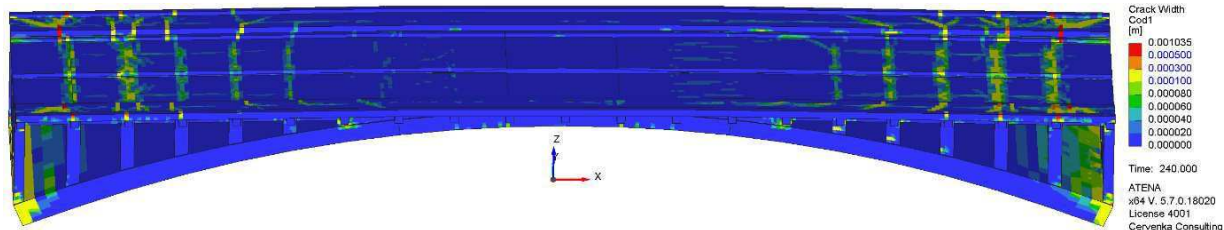
Obr. 3-171 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku



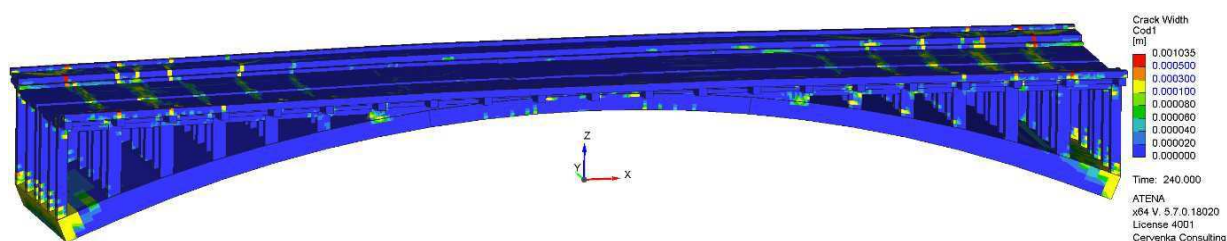
Obr. 3-172 Šířka trhlin v betonu, model J – výhradní zatížitelnost 67.47t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod



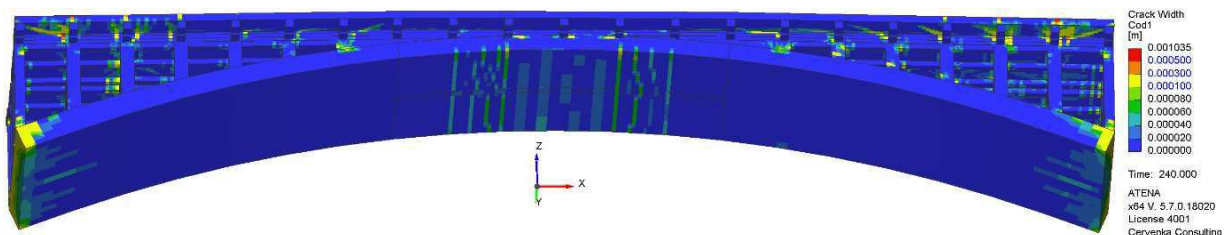
### 3.2.5 Model K – MSP charakteristická kombinace – výjimečná zatížitelnost – kritická pro vetknutí oblouku a pro stojky



Obr. 3-173 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie shora



Obr. 3-174 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie z boku



Obr. 3-175 Šířka trhlin v betonu, model K – výjimečná zatížitelnost 126.86t - kritická pro vetknutí oblouku, axonometrie zespod

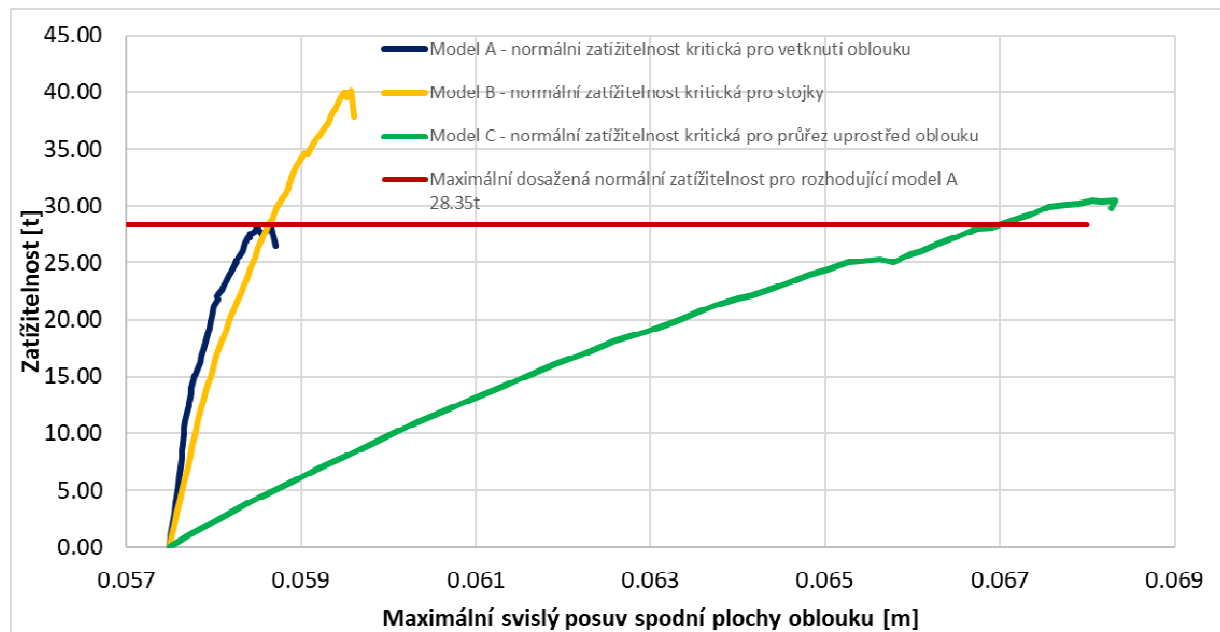
## 4 Shrnutí a závěr

V rámci projektu bylo provedeno 8 variant MSÚ nelineárního výpočtu zatížitelnosti sledované mostní konstrukce (kapitola 2.3.1.1) a 3 varianty MSP nelineárního výpočtu (kapitola 2.3.1.2) pro rozhodující modely z MSÚ. Výsledky jsou popsány a dokumentovány v kapitole 3 této zprávy. Na Obr. 4-1 - Obr. 4-3 jsou porovnány dosažené hodnoty zatížitelnosti pro jednotlivé varianty normální, výhradní a výjimečné zatížitelnosti s vyznačením rozhodující (minimální) hodnoty.

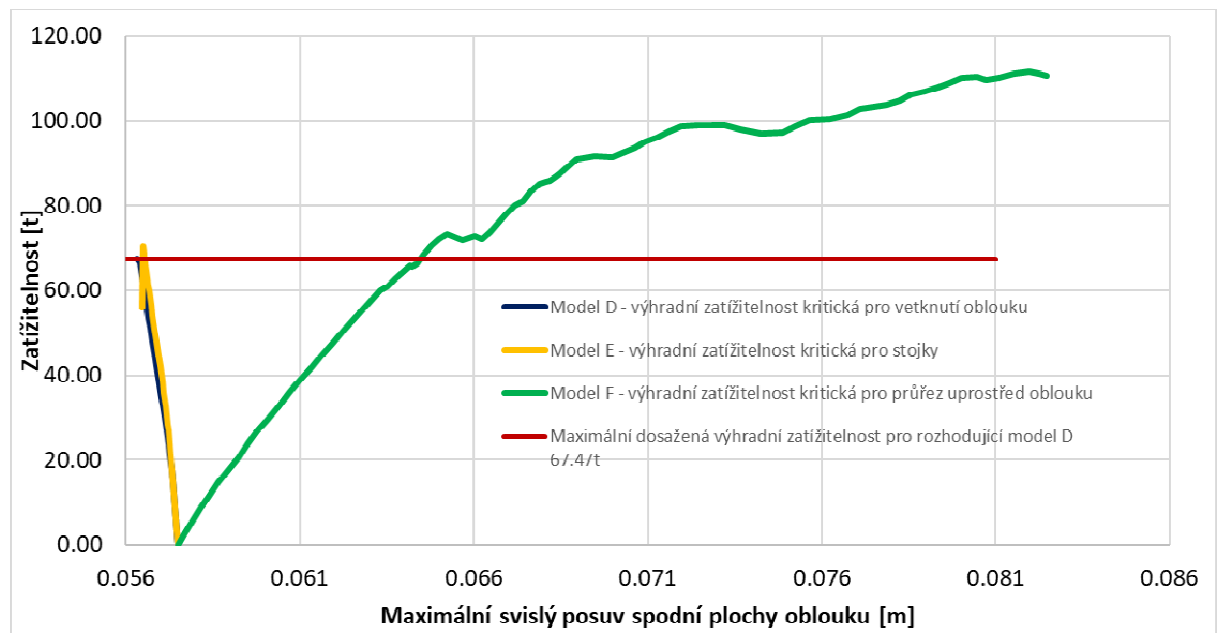
- Rozhodující **normální zatížitelnosti 28 t** bylo dosaženo pomocí modelu A (kapitola 3.1.1).
- Pro **výhradní zatížitelnost** byl rozhodující model D (kapitola 3.1.4), s nímž bylo dosaženo zatížitelnosti **67 t**.
- Rozhodující **výjimečné zatížitelnosti 126 t** bylo dosaženo s modelem G (kapitola 3.1.7).

Pro nelineární výpočet MSP za účelem posouzení šířky trhlin byla použita kvazistálá kombinace zatížení (neobsahuje zatížení dopravou) a dále charakteristická kombinace zatížení (kapitola 2.3.1.2), která je provedena pro rozhodující varianty zatížení dopravou v MSÚ (model A, model D a model G). Rozložení a velikost trhlin (kapitola 3.2) je pro kvazistálou i všechny tři varianty charakteristické zatěžovací kombinace velice podobné. Nejčastěji se na konstrukci objevují trhliny o velikosti 0,08 mm – 0,1 mm. Méně často 0,1 mm - 0,3 mm a výjimečně od 0,3 mm do 0,5 mm. Maximální šířka trhliny pro kvazistálou kombinaci, která se vyskytuje v desce mostovky nad druhou řadou stojek, je 0,88 mm. V téže oblasti se nachází největší trhlina také pro rozhodující charakteristickou kombinaci, která dosahuje šířky 1 mm.

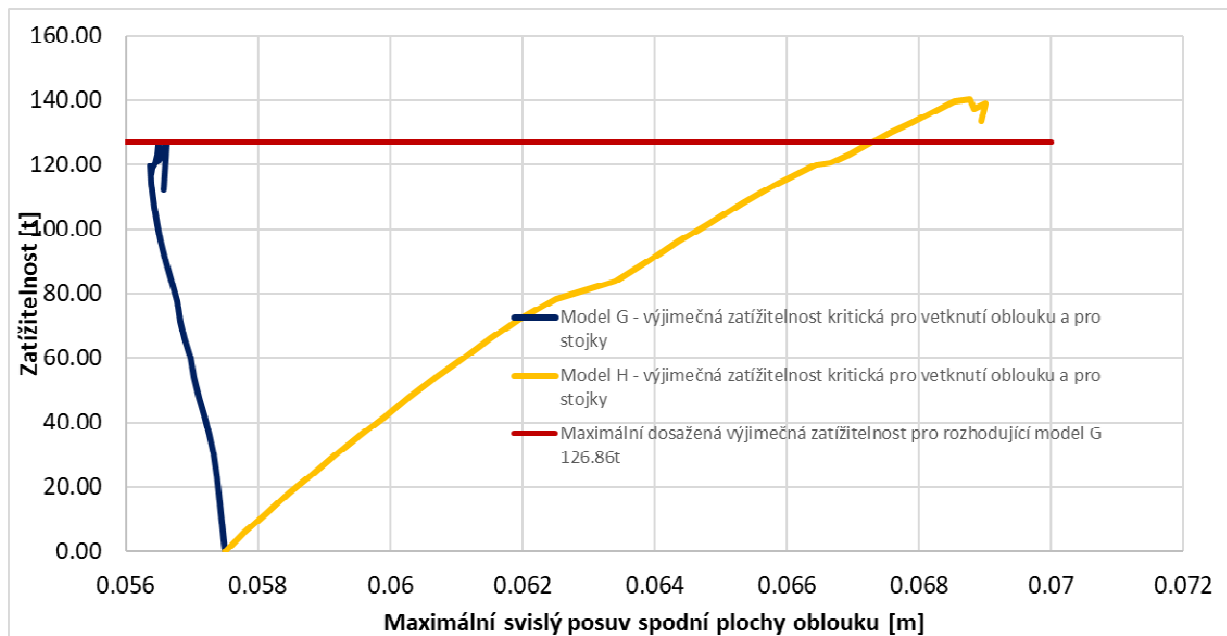
Rozdíl mezi maximální šířkou trhliny na úrovni, kde konstrukce je zatížena pouze smrštěním a stálými zatíženími, a kvazistálou zatěžovací kombinací je  $0,88 - 0,56 = 0,32$  [mm]. Přetížením na charakteristickou kombinaci se tento rozdíl zvýší na  $1 - 0,56 = 0,44$  [mm].



Obr. 4-1 Porovnání křivek pro varianty normální zatížitelnosti



Obr. 4-2 Porovnání křivek pro varianty výhradní zatížitelnosti



Obr. 4-3 Porovnání křivek pro varianty výjimečné zatížitelnosti

## Literatura

- [1] CERVENKA, J., JENDELE, L., CERVENKA, V. „ATENA Program documentation. Theory.”Cervenka Consulting, [www.cervenka.cz](http://www.cervenka.cz), 2014.
- [2] CERVENKA, J., PAPPANIKOLAOU, V. “*Three dimensional combined fracture-plastic material model for concrete*”. Int. J. of Plasticity, Vol. 24, 12, 2008, ISSN 0749-6419, pp. 2192-2220.
- [3] ČSN EN 1992, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] CERVENKA V, CERVENKA J, KADLEC L. Model uncertainties in numerical simulations of reinforced concrete structures. Structural Concrete. 2018;1–13. <https://doi.org/10.1002/suco.201700287>
- [5] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn, 2013, ISBN 978-3-433-03061-5
- [6] Výpočet zatížitelnosti Nymburk, most ev.č. 503-004 přes Labe. PRAGOPROJEKT a.s.
- [7] Stavba nového obloukového mostu přes řeku Labe v Nymburku, Archivní stavební a konstrukční dokumentace 1983-1914
- [8] ČSN 73 622:2013 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací (vč. Změny 1:2014)