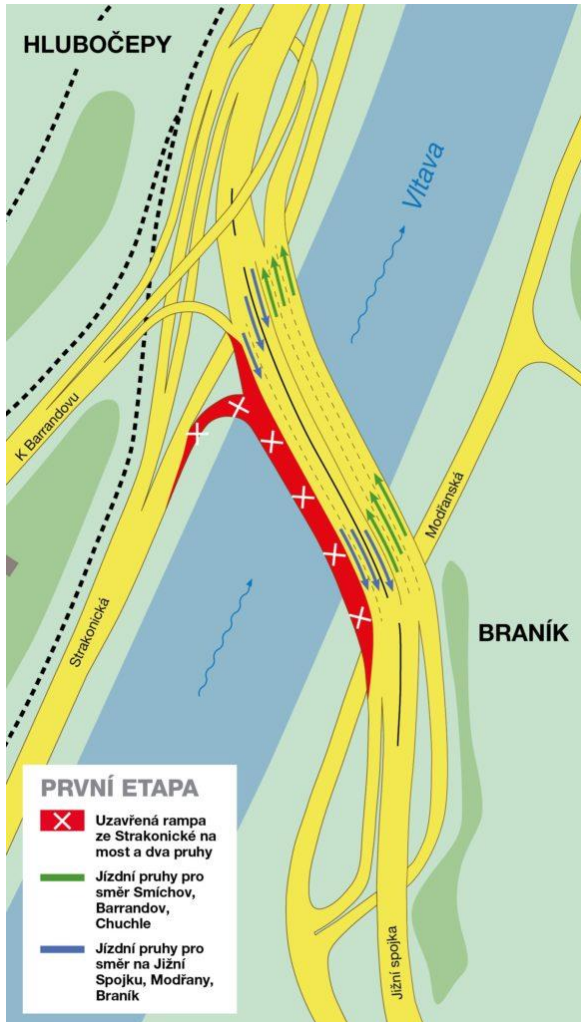


Barrandovský most

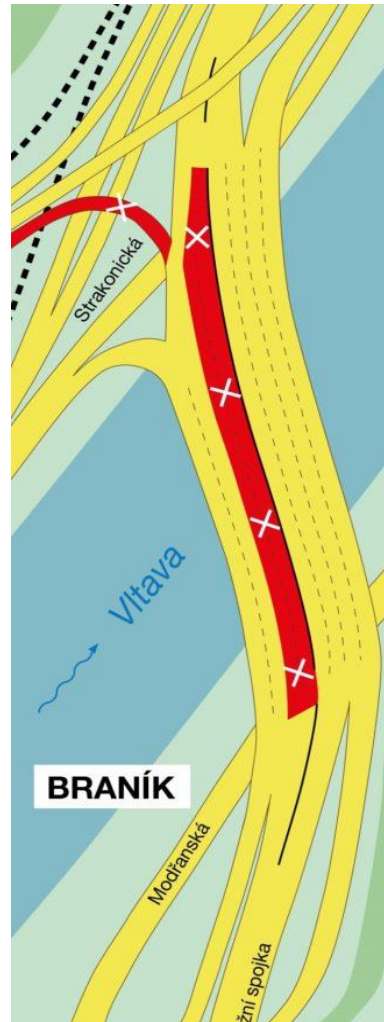
Udržitelnost v kontextu UHPC

Lukáš Vráblík, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, VALBEK spol. s r.o.

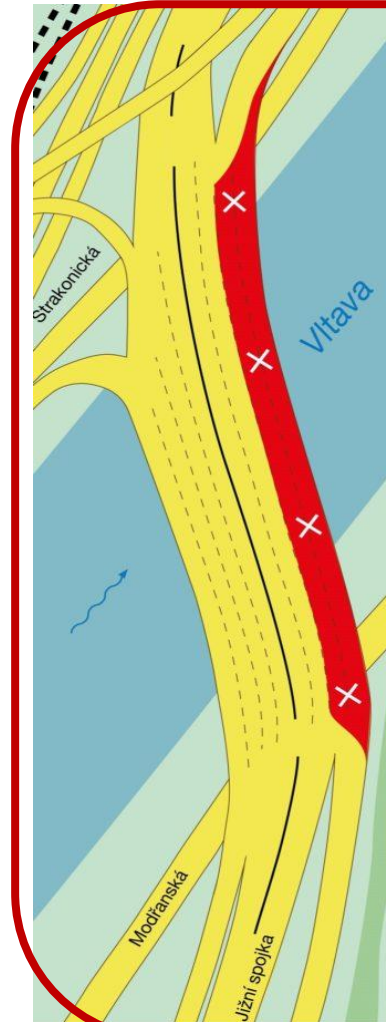
Jan L. Vítek, ČVUT v Praze, Fakulta stavební



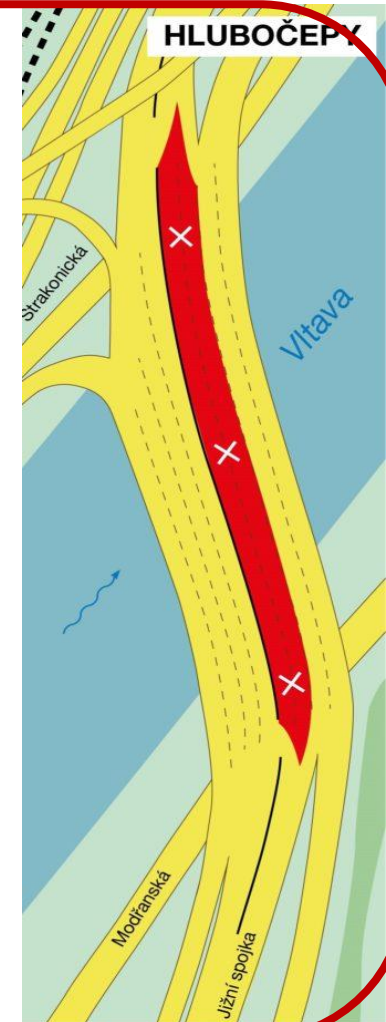
1. Etapa - 2022



2. Etapa - 2023



3. Etapa - 2024



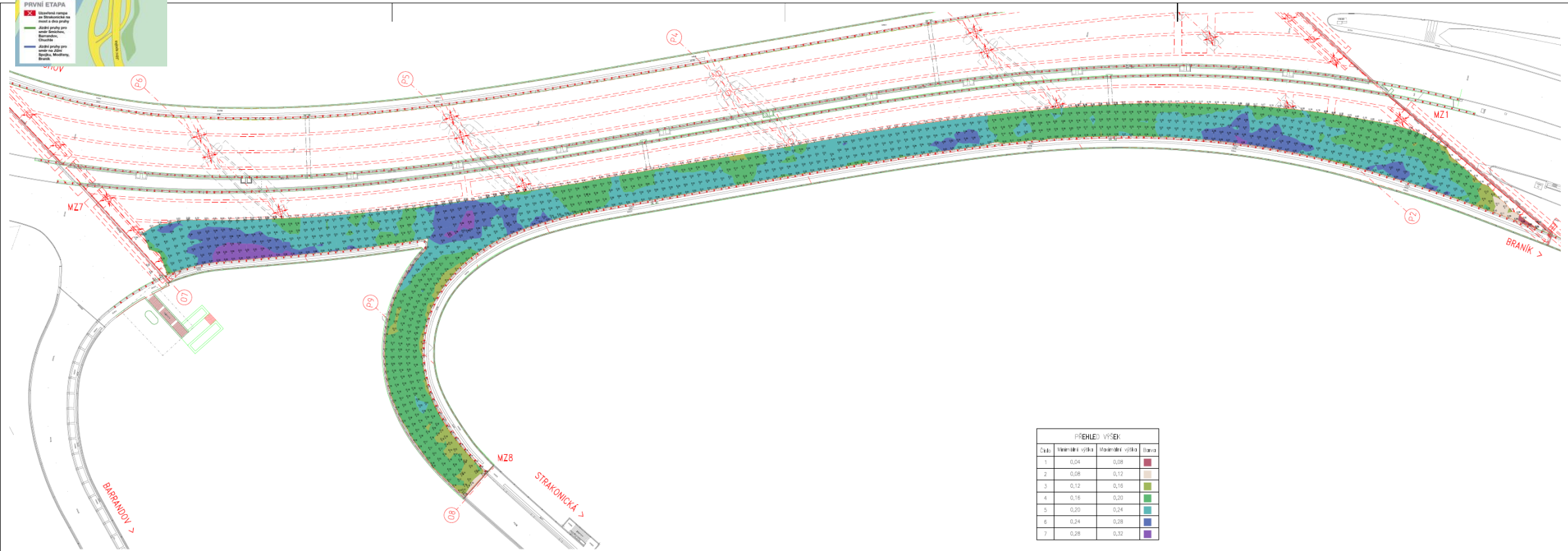
4. Etapa - 2025

3. + 4. Etapa - 2024





1. Etapa - 2022



PREHLED VÝSEKŮ

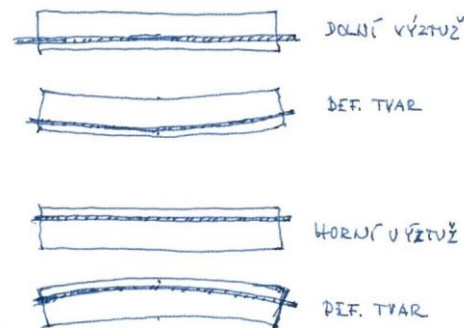
Číslo	Minimální výška	Maximální výška	Barva
1	0,04	0,08	červená
2	0,08	0,12	žlutá
3	0,12	0,16	zelená
4	0,16	0,20	modrá
5	0,20	0,24	světle modrá
6	0,24	0,28	tmavě modrá
7	0,28	0,32	černá

Udržitelnost betonu?

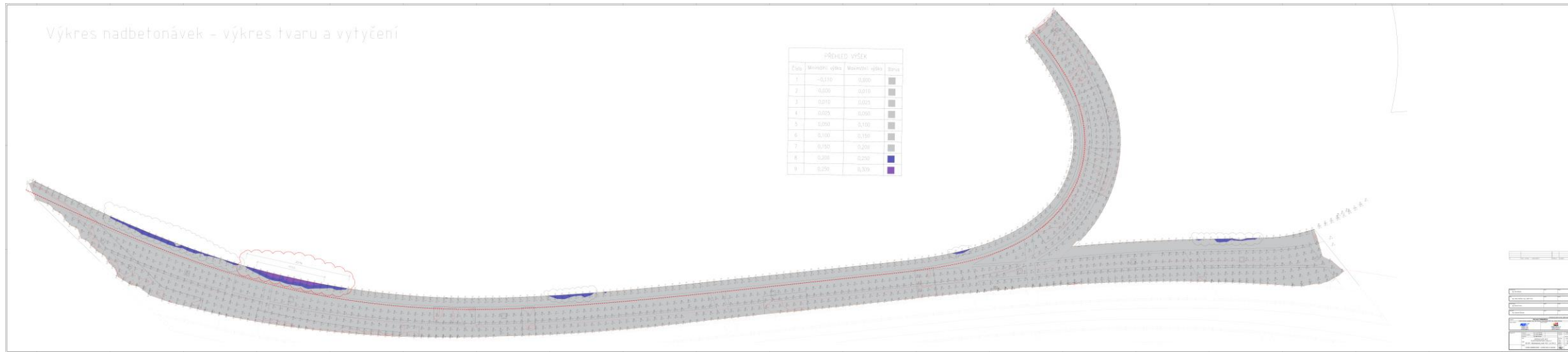
- Označení betonu dle ČSN EN 206+A2, ČSN P 73 2404 - C110; X0, XC1-4, XD1-3, XF1-4, XA1, XA2-3 (CZ, F.1.1), XM1(CZ, F.2)-Cl 0,2; SF1; D_{\max} 4 mm. Pevnost v tahu za ohybu - $f_{R1k} > 20\text{MPa}$ - max. průsak 20 mm podle ČSN EN 12 390-8; odolnost proti mrazu a CHRL podle ČSN 73 1326: C/75/1000; Rozlití 550-650 mm podle EN 12350-8 - Beton upravený pro ukládku do spádu.
- **Minimální přípustná tloušťka vyrovnávací vrstvy je 25 mm.** Vyrovnávací vrstva z UHPFRC bude v místech, kde bude této minimální tloušťky dosaženo, skokově ukončena. Vyrovnávací vrstva menší tloušťky bude realizována jiným materiálem. Její maximální tloušťka bude vycházet z geometrického zaměření obnaženého horního povrchu stávající nosné konstrukce, nově navrženého výškového vedení komunikace na mostě a zvolených tloušťek jednotlivých vrstev vozovkového souvrství. **Maximální výsledný** garantovaný **spád** horního povrchu vyrovnávací vrstvy z UHPFRC je **6 %**.
- Podklad pro ukládání vyrovnávací vrstvy z UHPFRC musí být z kvalitního neporušeného betonu, u kterého nedochází k odprýskávání (delaminaci) povrchových vrstev, které budou v přímém styku s vyrovnávací vrstvou. Toto je nutné prokázat pomocí dostatečného počtu (**minimálně 10 ks/ 500 m²**) odtrhových zkoušek pro zjištění tahové pevnosti horní vrstvy. Minimálně musí být dosaženo pevnosti **1,5 MPa**. Další minimálně 10 zkoušek se provede v oblasti budoucích pracovních spár;

- Povrch musí být upraven tak, aby z něho vyčnívala čistá zrna hrubého kameniva (minimální velikosti 3 mm). Finálně bude horní povrch otryskán vodním paprskem tlakem cca **2500 bar**. Následně bude provedeno plošné akustické trasování. Zastižená poškozená místa budou ruční mechanizací odstraněna. Následovat bude finální otryskání těchto míst a dotčeného okolí vodním paprskem s tlakem **1500 bar** a dokonalé očištění celé zasažené oblasti (okolní plochy budou mít znečištěný povrch od prováděného bourání, pohybu osob atd.). Na takto připraveném povrchu bude provedeno testování odtrhovými zkouškami – viz výše; stejným způsobem bude provedena příprava horního povrchu pod stávajícími římsami;
- Před betonáží nesmí na povrchu betonu stávající nosné konstrukce stát žádná voda, ale na druhou stranu povrch musí být před aplikací vyrovnávací vrstvy z UHPFRC vlhký (povrch musí být zvlčen postříkem vodní mlhou dostatečně dlouhou dobu – minimálně 2 hodiny). Pokud někde hrozí hromadění vody, je třeba ji odstranit, nejlépe přirozeným odtokem (dodatečné vyspádování, případně dočasné odvedení skrze nosnou konstrukci), nebo odsátím. Pozornost je nutné věnovat nejen vodě srážkové, ale i vodě použité pro zvlčení povrchu před aplikací UHPFRC;
- Vyrovnávací vrstva z UHPFRC se aplikuje přímo na upravený vlhký povrch původního betonu bez aplikace jakýchkoli dalších vrstev (např. adhezních můstků);

- Pro tloušťky vyrovnávací vrstvy **od 40 mm bude doplněna klasická betonářská výztuž** – ideálně použití KARI sítě;
- Výztužná síť musí být umístěna **v horní části betonované vyrovnávací vrstvy (pokud možno nad její střednicí)**. Je třeba doplnit vhodná distanční tělíska (nejlépe betonová); lokálně je možné využít pro definování polohy výztuže (KARI síť) od horního povrchu původní konstrukce betonářskou výztuž $\varnothing 6$ mm;
- **Výztužná síť nesmí ležet přímo na podkladu – horním povrchu stávající konstrukce.** Vždy, i u vrstvy tloušťky 40 mm (která je nejmenší tloušťkou vyrovnávací vrstvy z UHPFRC s výztuží), musí být mezera mezi povrchem mostovky a spodním prutem sítě min. 10 mm (při profilu výztuže 8 mm bude horní krytí výztuže redukováno na 14 mm). Výztuž se umístí tak, aby pruty kolmé k podélným okrajům betonovaných úseků byly nahoře. Toto doporučení se týká pouze Barrandovského mostu, není v souladu s TP ČBS č. 07 UHPC, ale tento rozpor je možné odůvodnit tím, že na vyrovnávací vrstvě bude použita hydroizolace. Kritérium polohy výztuže spíše v horní polovině výšky vyrovnávací vrstvy vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je důležitější než kritérium dodržení předepsané tloušťky krycí vrstvy. Při větších tloušťkách je třeba výztuž dát co nejvýše (při dodržení horního krytí výztuže 20 mm);



- Ihned po uhlazení povrchu bude proveden nástřik prostředkem pro zamezení odpařování vody (přesná specifikace materiálu po dohodě s dodavatelem UHPFRC – TBG Metrostav s.r.o.);
- Vždy po zarovnání povrchu úseku podélného pásu (v řádu několika metrů) - tzn. po finálním urovnání, aplikaci protiodpařovacího postřiku a zavadnutí – se povrch zakryje PE fólií;
- Obecně je nutné zamezit vysoušení povrchu. Dobu ošetřování doporučujeme minimálně 48 hodin po ukončení betonáže; toto je významný faktor pro eliminaci nerovnoměrného smršťování od vysychání;
- Z hlediska plánování logistiky je možné po této době (48 hodin) vyrovnávací vrstvu plně pojíždět (možno například využít pro nájezd autodomíchávačů).

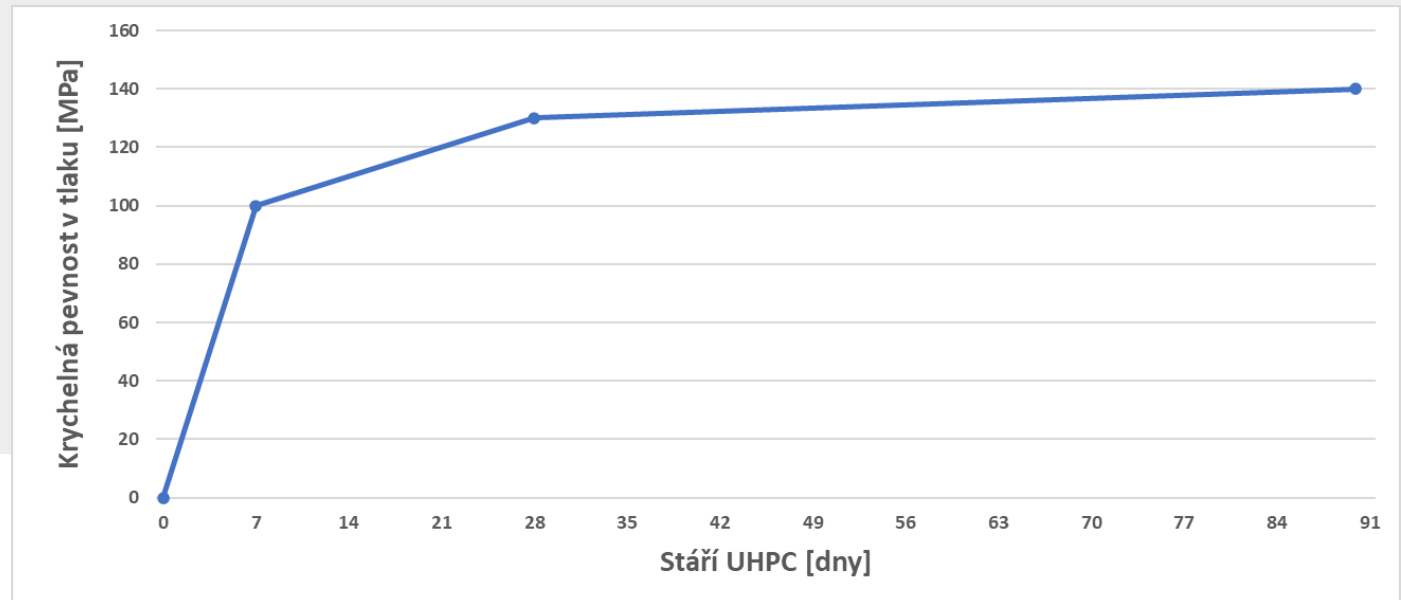


Pro vyrovnávací vrstvu zvolen materiál UHPC – minimální tloušťka 25 mm

Upravená tixotropie – možnost uložení do výsledného spádu 6%



- Specifikace dle podnikové normy TBG Metrostav
 - Zaručená válcová pevnost 110 MPa
 - Zaručená pevnost v tahu za ohybu $f_{R1,k} = 20$ Mpa
 - 3% drátků
- Kontrola shody dle nového TP ČBS 07
 - Doplnkově měřeny i krychelné pevnosti
- Veškeré slíbené parametry byly dodrženy

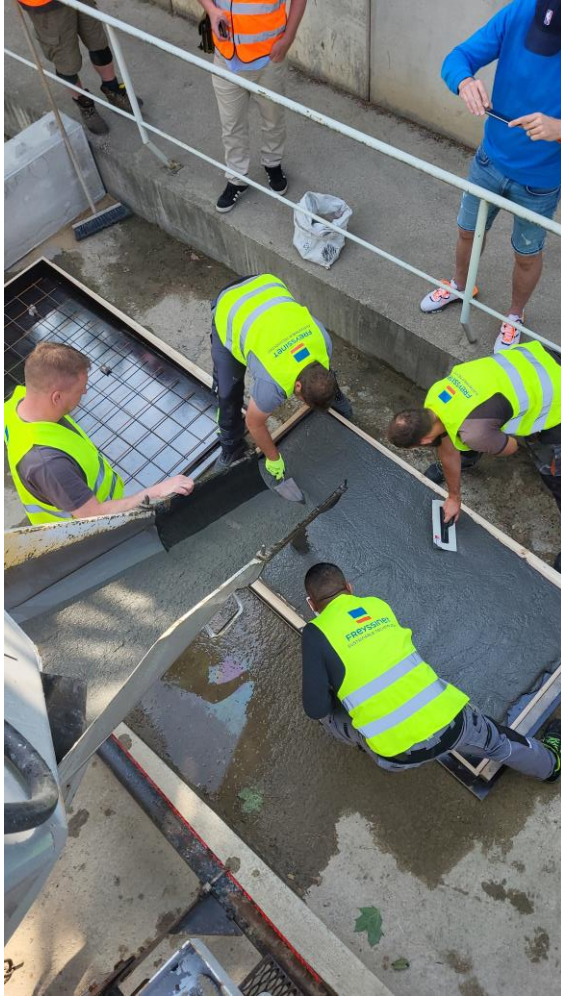




- Úprava betonárny
 - Co nejjednodušší dávkování drátků
 - Změny materiálů
- Úprava provozní doby
 - Vyčlenění Betonárny Libeň pouze pro míchání UHPC
- Vyčlenění mixů pro dopravu UHPC



- Zkouška ukládky do spádu 6%
- Zkoušky odtrhových pevností
- Zkoušky natavování pásů





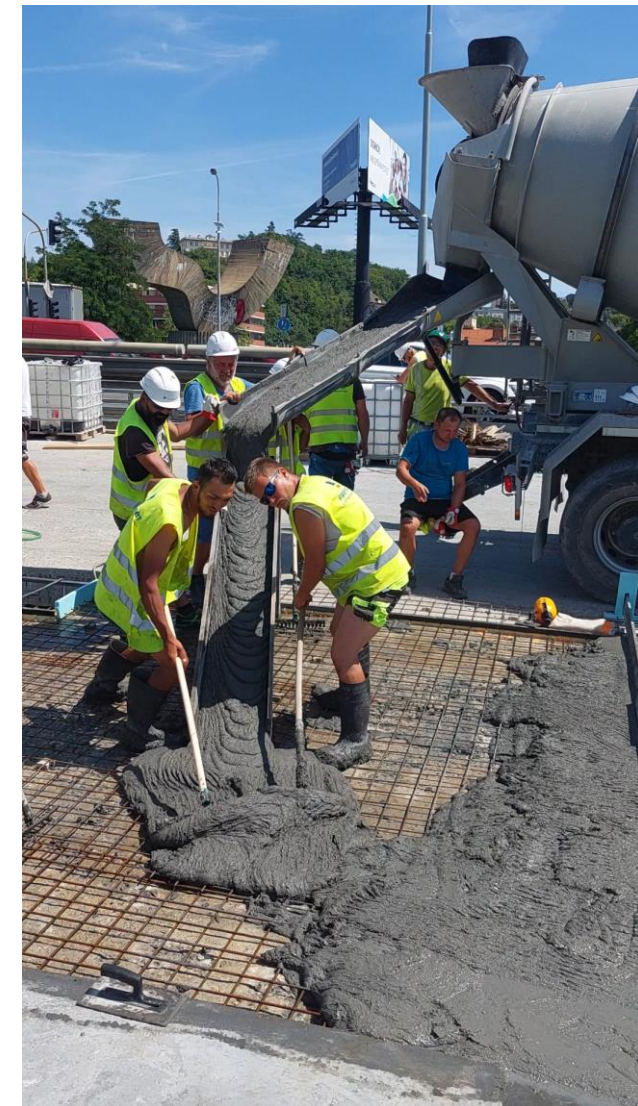
- Ukládka



- Příprava povrchu pro ukládku
- Největší výzva
 - Udržet UHPC ve spádu
- Náročné na
 - Ukládku
 - Technologickou kázeň
 - Ošetřování



- Ukládka - video



- Ošetřování






- Hotový povrch





- V některých místech došlo k odtržení nabetonované vrstvy od podkladu
- Hlavní důvod
 - Špatná a nerovnoměrná kvalita podkladu
 - Nedostatečné pevnosti povrchových vrstev podkladu
 - Poloha výztuže
- Další důvody
 - Vliv vysokých teplot
 - Vibrace
 - Přítomnost vody
- Sanace
 - Vybourání dvou částí a následné znovuzabetonování s kotvami
 - Dodatečné vrty a kotvení

LEGENDA:

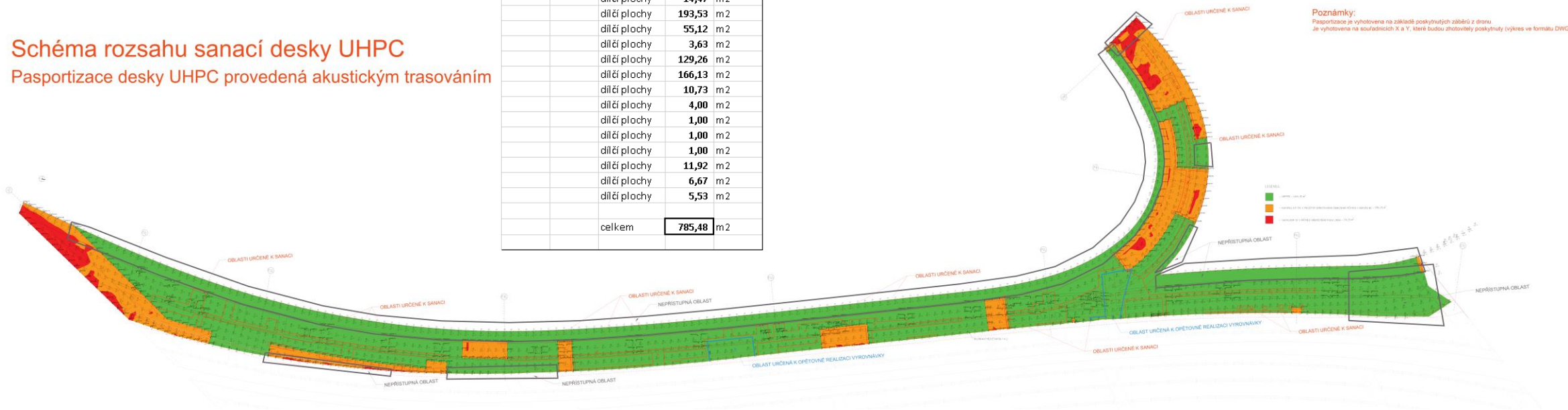
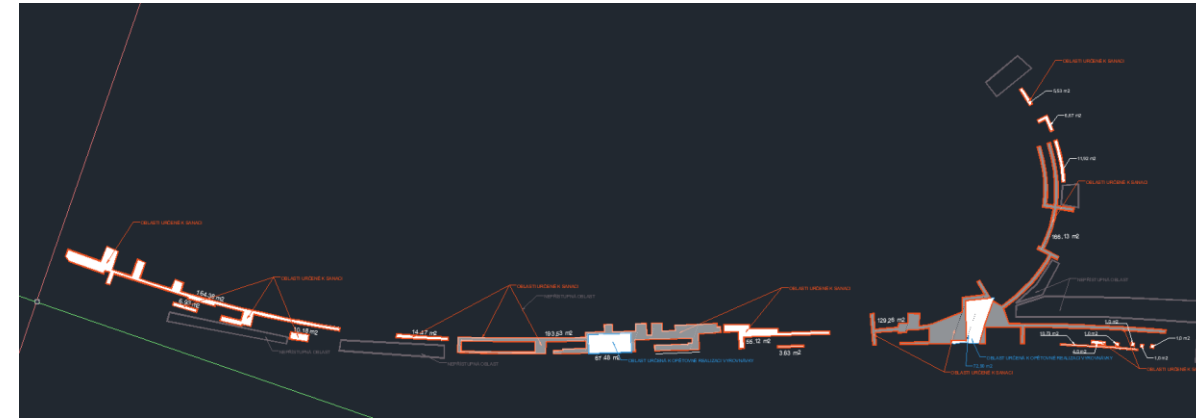
-  – UHPFRC - 4604,35 m²
-  – NAFUFILL KM 130, S POUŽITÍM CEMENTOVÉHO ADHEZNÍHO MŮSTKU + NAFUFIL BC - 1184,29 m²
-  – SIKAFLOOR 151 S PŘÍMĚSÍ KŘEMIČITÉHO PÍSKU ZRNA - 216,23 m²

Plochy výpočet			
Modrá	u P5	72,90	m2
	u P4	67,48	m2
	celkem	140,38	m2

Plochy výpočet			
Červená	dílčí plochy	164,38	m2
	dílčí plochy	6,93	m2
	dílčí plochy	10,18	m2
	dílčí plochy	14,47	m2
	dílčí plochy	193,53	m2
	dílčí plochy	55,12	m2
	dílčí plochy	3,63	m2
	dílčí plochy	129,26	m2
	dílčí plochy	166,13	m2
	dílčí plochy	10,73	m2
	dílčí plochy	4,00	m2
	dílčí plochy	1,00	m2
	dílčí plochy	1,00	m2
	dílčí plochy	11,92	m2
	dílčí plochy	6,67	m2
dílčí plochy	5,53	m2	
	celkem	785,48	m2

Schéma rozsahu sanací desky UHPC
Pasportizace desky UHPC provedená akustickým trasováním

Udržitelnost betonu?





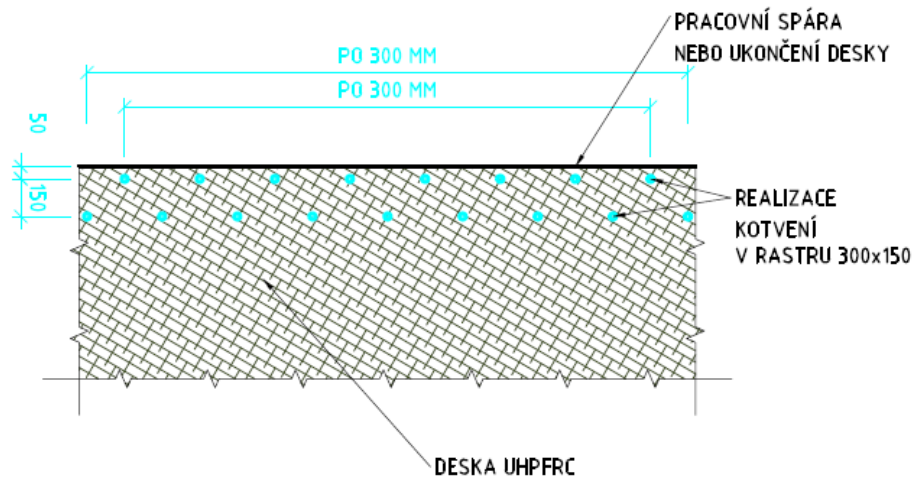




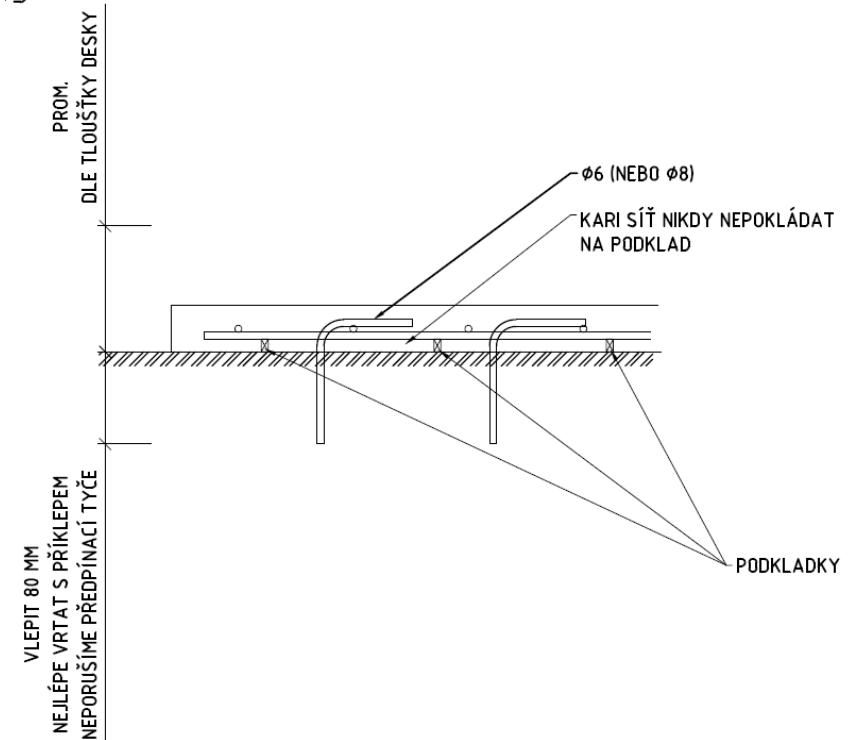
- Pro odstranění rizika odtrhnutí (delaminace) okrajů betonážních taktů (pracovní spáry) vzhledem k předpokládané nízké kvalitě stávajícího betonu konstrukce, jsou **okrajové pásy vyrovnávací vrstvy z UHPFRC přikotveny** k podkladu pomocí kotvení betonářskou výztuží. Kotevní výztuže budou umístěny v pásu rovnoběžném s okrajem betonážního taktu ve vzdálenosti od okraje cca 50 a 200 mm. Vzájemná vzdálenost kotev ve směru rovnoběžně s okrajem betonážního taktu bude maximálně 300 mm.

PŮDORYSNÉ SCHÉMA

KOTVENÍ PODÉL PRACOVNÍCH SPAR, ČI
UKONČENÍ UHPFRC DESKY, VČETNĚ OTVORŮ
M 1:25



KOTVENÍ U PRACOVNÍCH SPAR ČI
UKONČENÍ UHPFRC DESKY
M 1:5











FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE

B E T O N
U N I V E R S I T Y

Udržitelnost betonu?

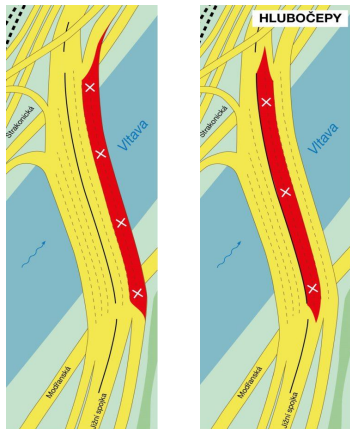




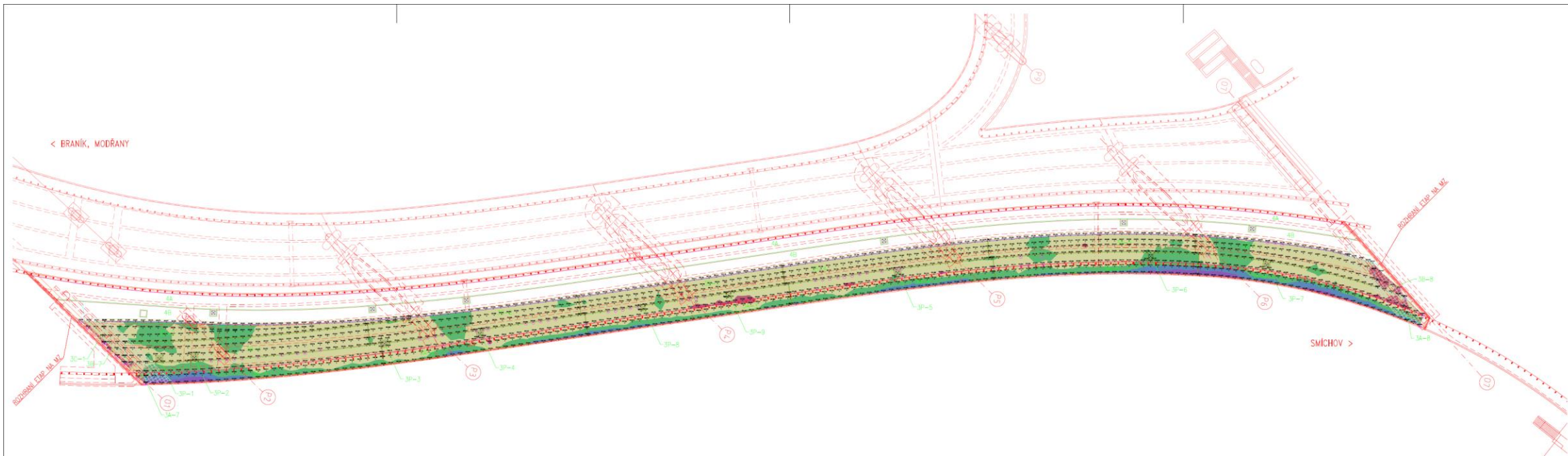
- Vyrobeno a přepraveno cca 400 m³ UHPC během cca 2 měsíců – 1. etapa
- Vyrobeno a přepraveno cca 190 m³ UHPC během cca 2 měsíců – 2. etapa
- Vše v požadované kvalitě a domluvených termínech
- Veškeré vyrobené UHPC splňovalo předem domluvené parametry
- Stejná technologie bude použita pro další etapy rekonstrukce

ÚSPĚCH

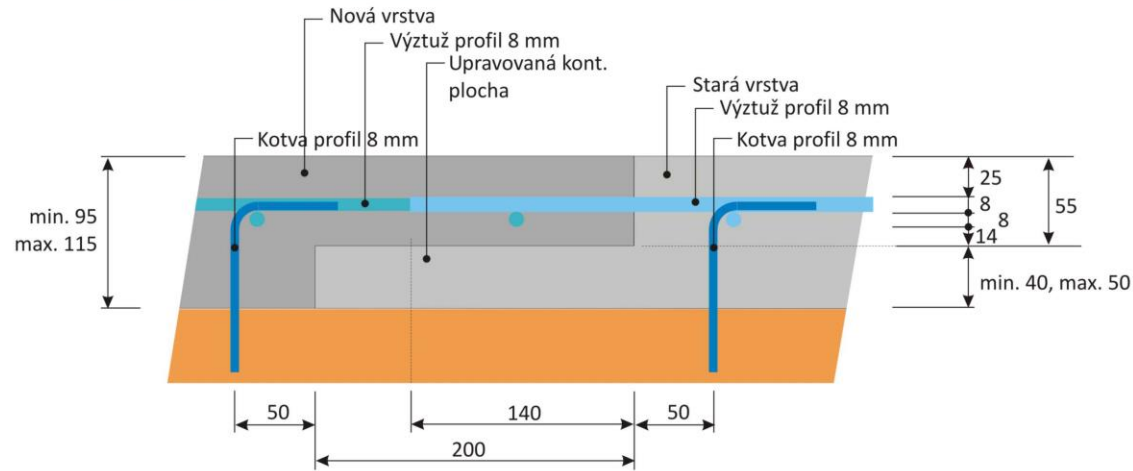




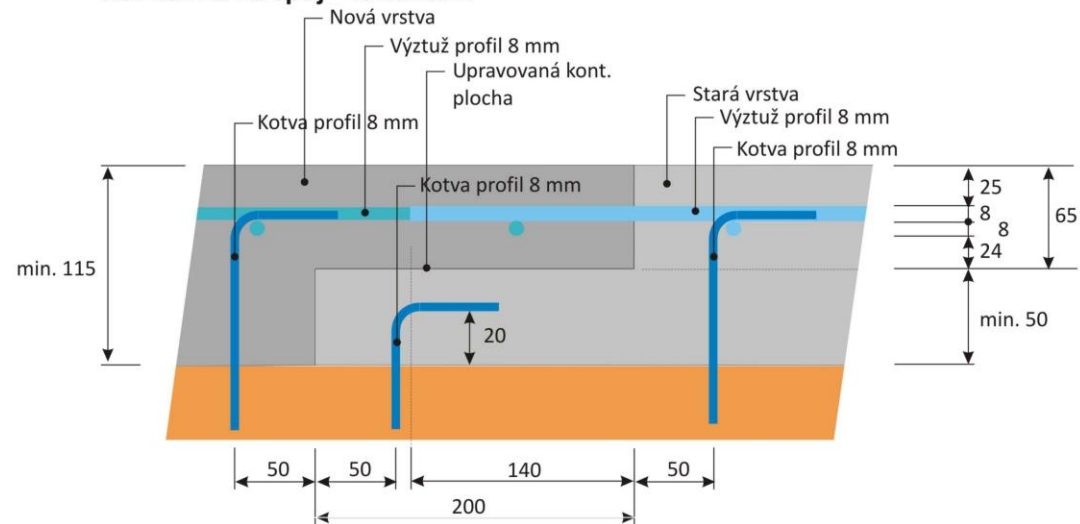
3. + 4. Etapa - 2024



Řez kolmo na spoj - varianta 1



Řez kolmo na spoj - varianta 2

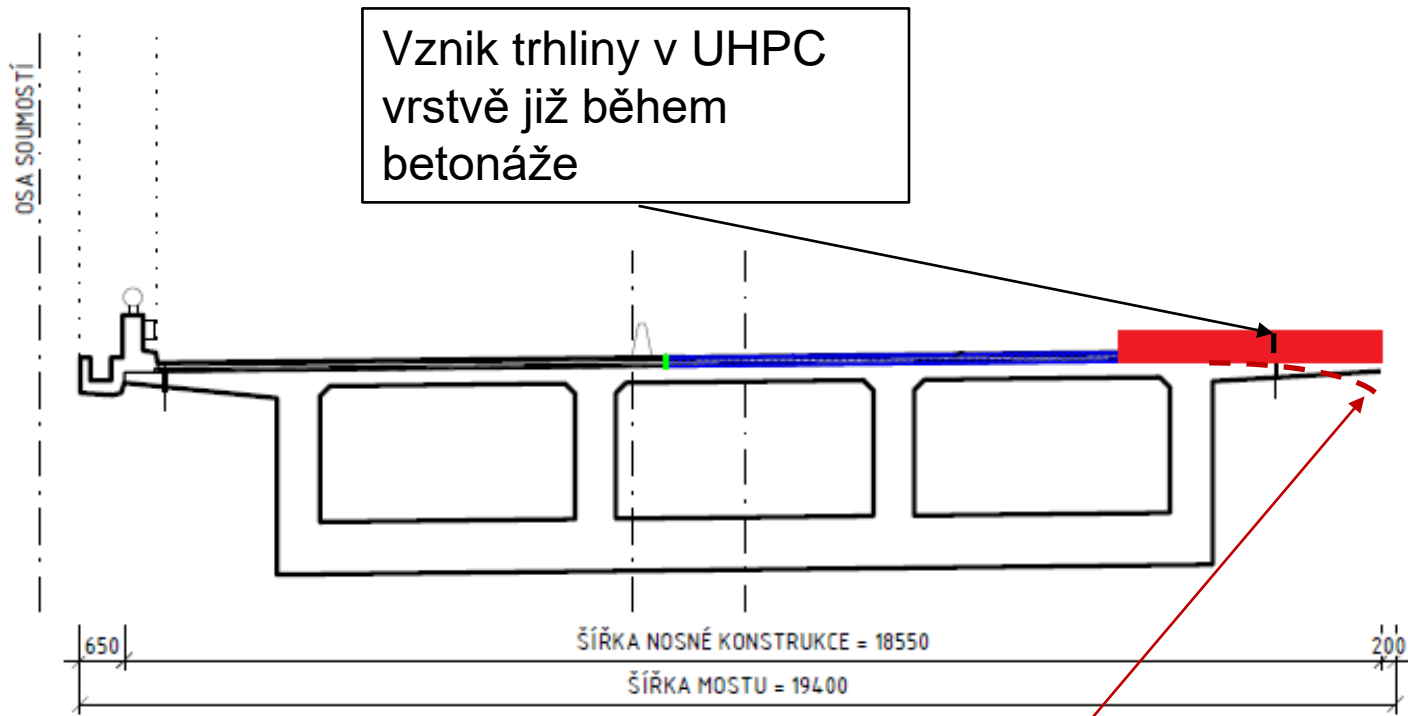


- UHPC využito pro ztužení a zesílení nosné konstrukce. Cíleně započteno do statické funkce nosné konstrukce
- Využito kompletně potenciálu materiálu – na nosné konstrukci nebude realizována izolace
- Předpoklad výroby a přepravy cca 850 - 1000 m³ UHPC – 3. a 4. etapa



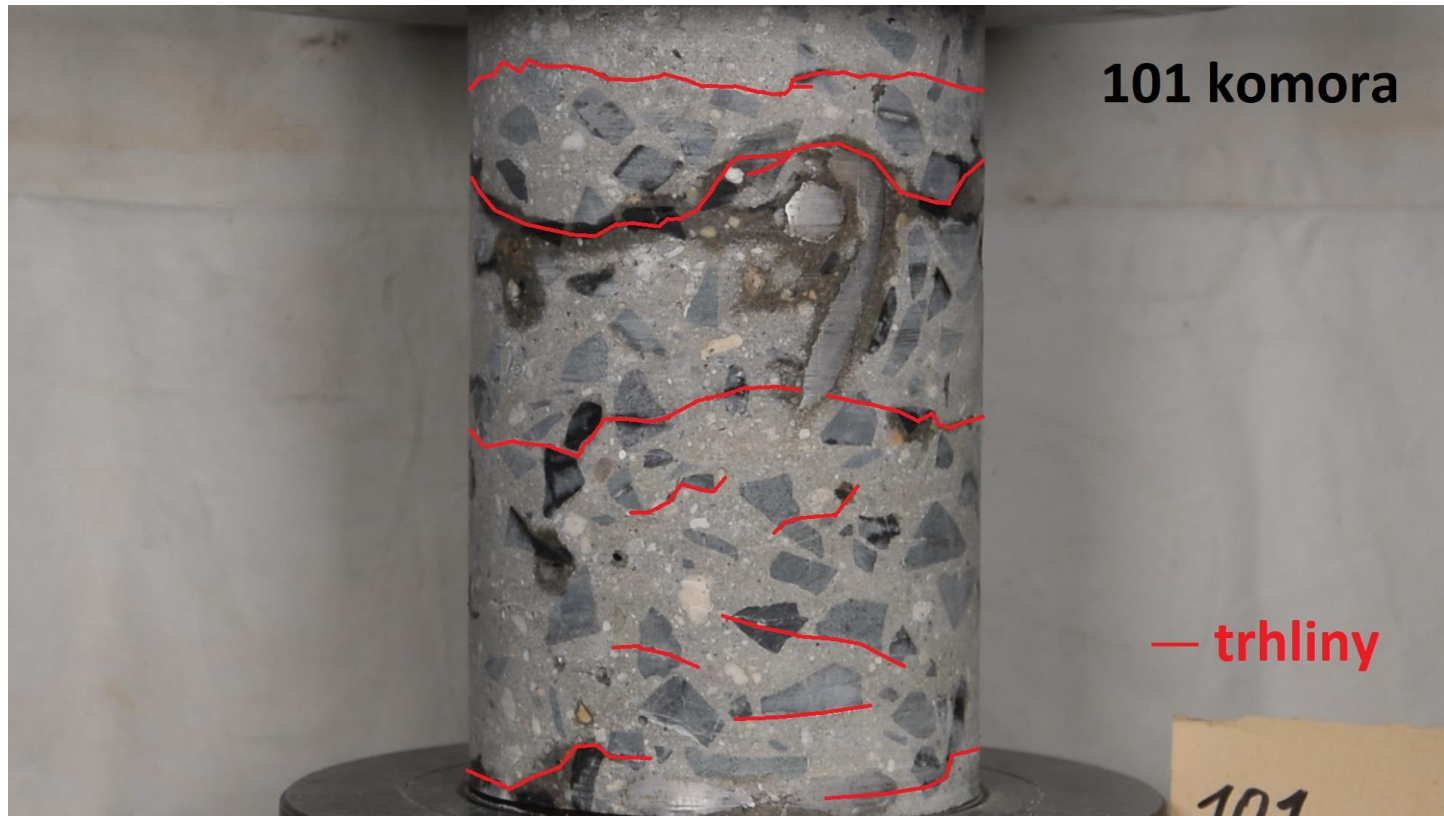


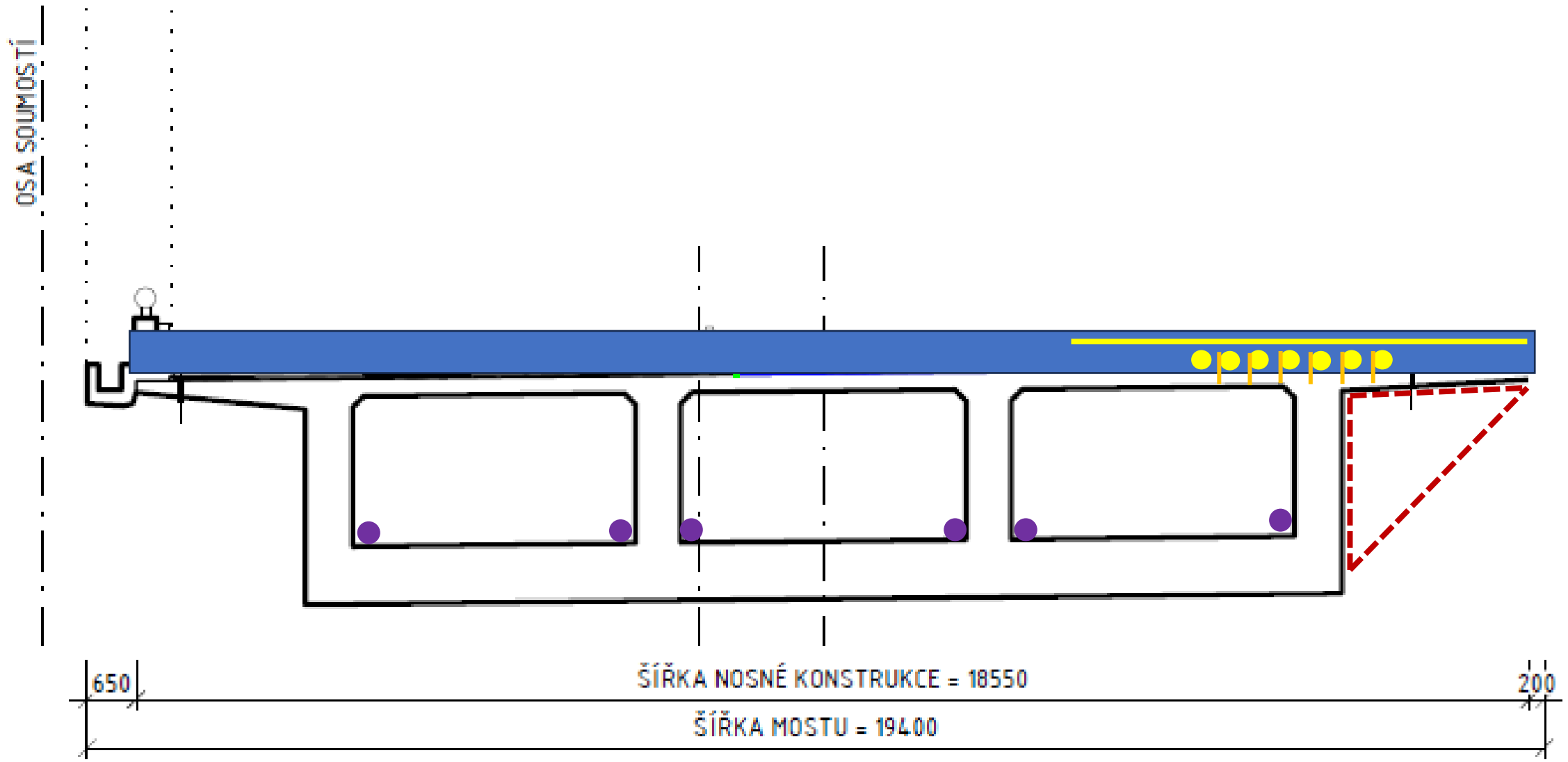


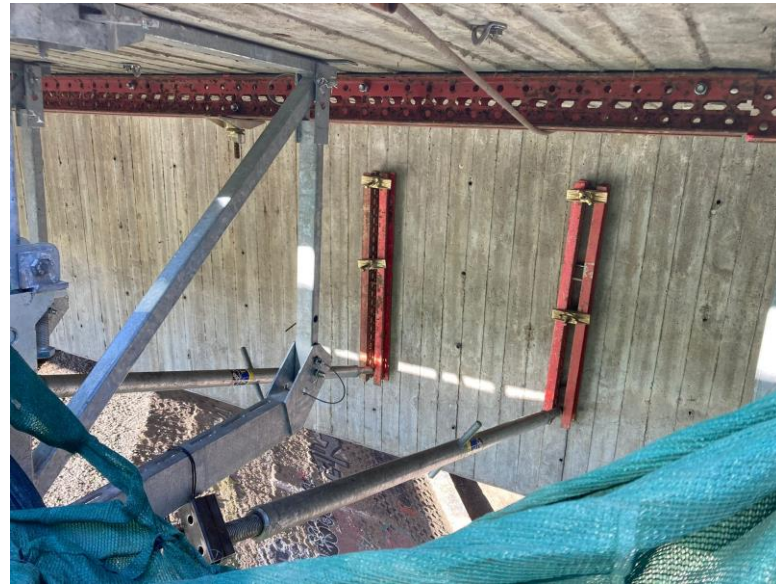
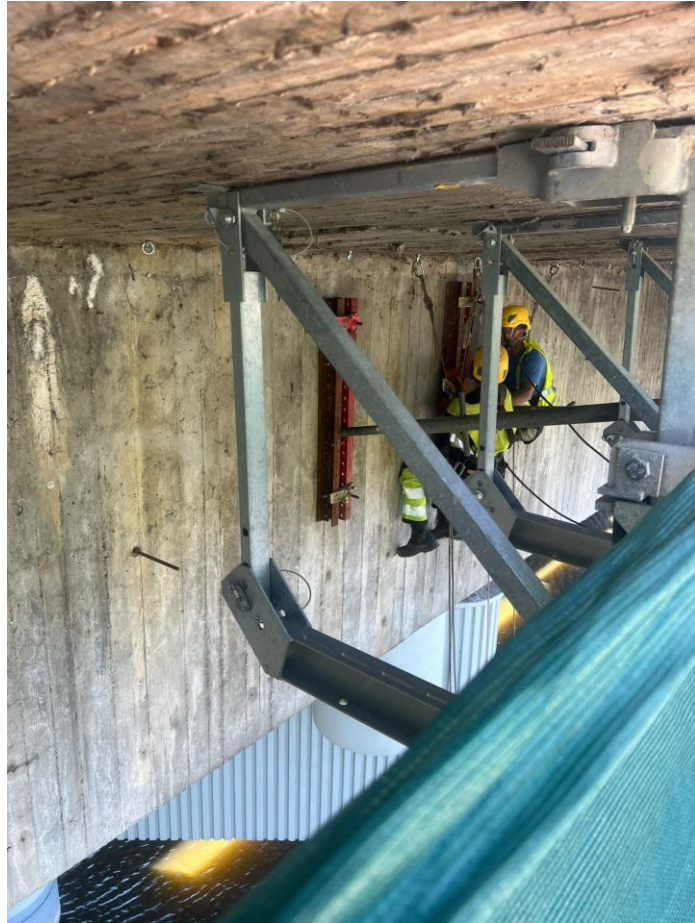
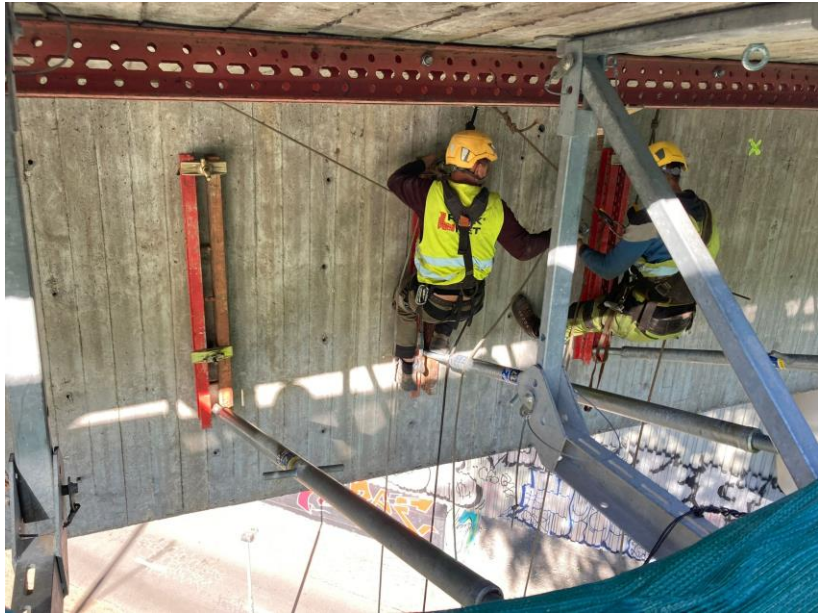


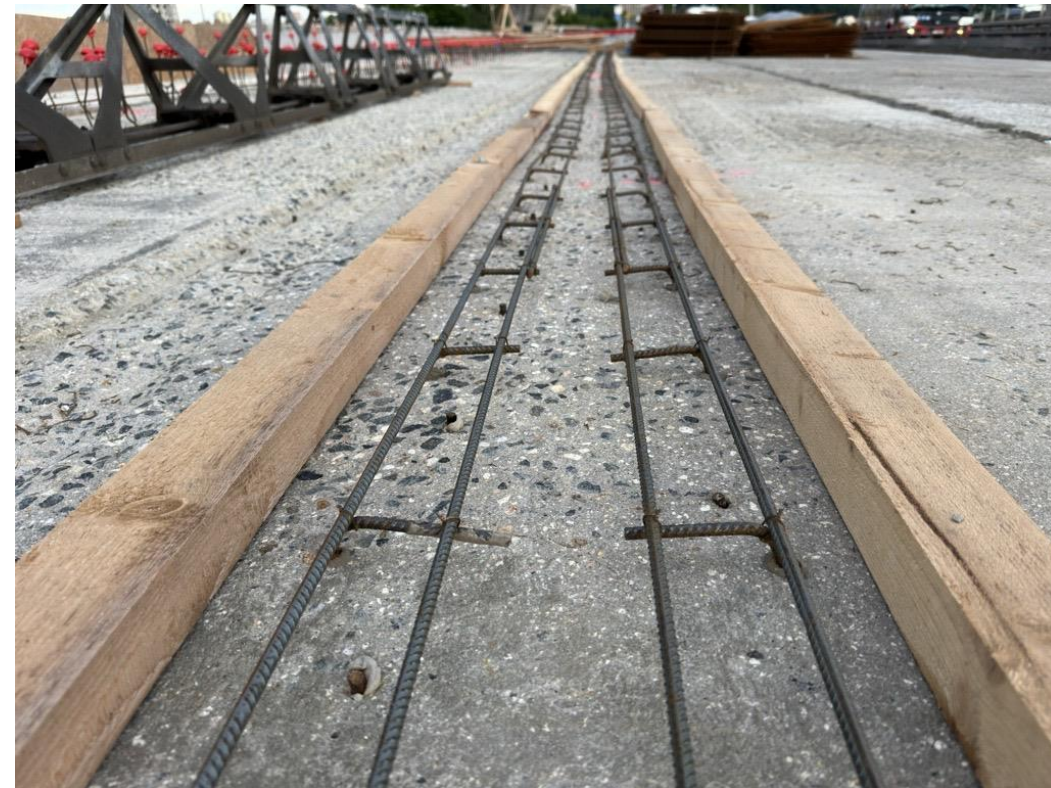
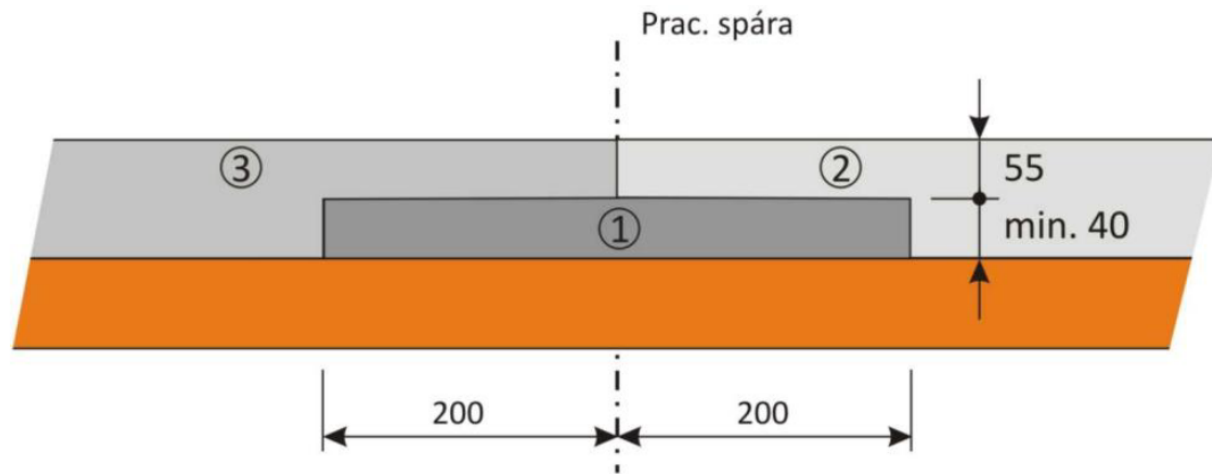
Průhyb konce konzoly
během betonáže vrstvy
z UHPC

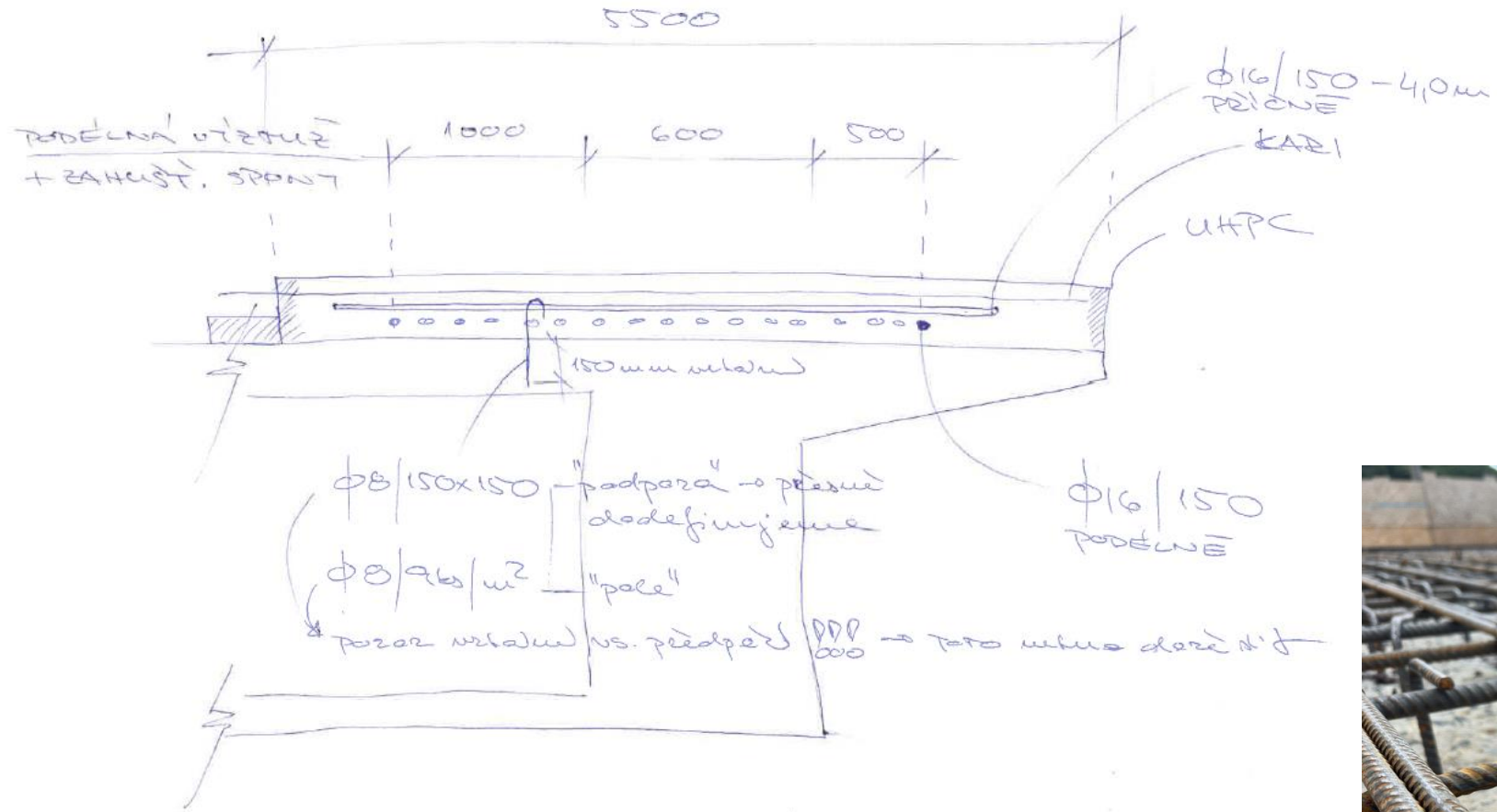










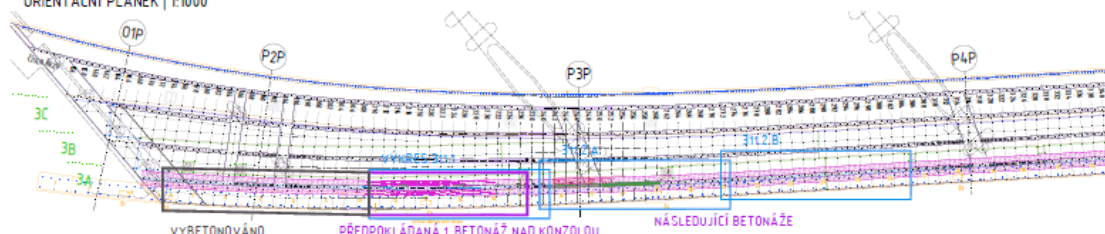




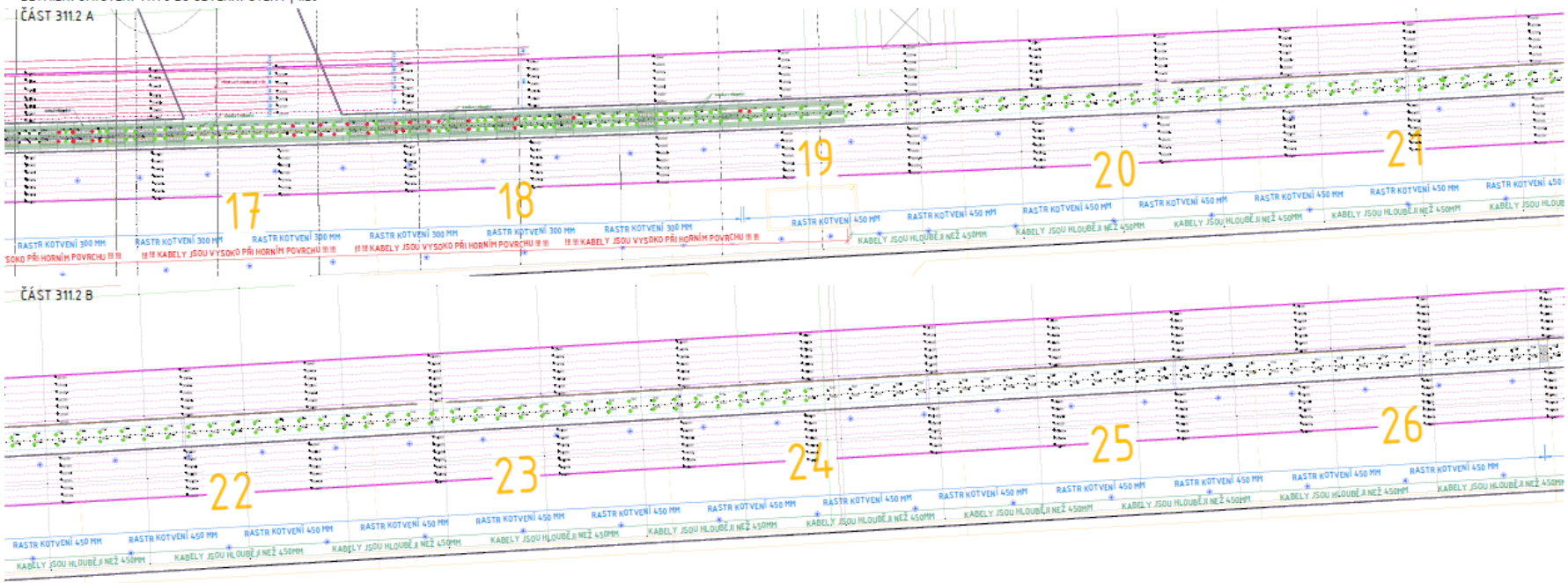


KOTVENÍ VRSTVY UHPFRC DO SEVERNÍ STĚNY PRAVÉHO MOSTU

ORIENTAČNÍ PLÁNEK | 1:1000



DETAILNÍ UMÍSTĚNÍ VRTŮ DO SEVERNÍ STĚNY | 1:20



LINIE VRTŮ 150 MM

ID BODU	Y	X
1	1000	1000
2	1000	1000
3	1000	1000
4	1000	1000
5	1000	1000
6	1000	1000
7	1000	1000
8	1000	1000
9	1000	1000
10	1000	1000
11	1000	1000
12	1000	1000
13	1000	1000
14	1000	1000
15	1000	1000
16	1000	1000
17	1000	1000
18	1000	1000
19	1000	1000
20	1000	1000
21	1000	1000
22	1000	1000
23	1000	1000
24	1000	1000
25	1000	1000
26	1000	1000
27	1000	1000
28	1000	1000
29	1000	1000
30	1000	1000
31	1000	1000
32	1000	1000
33	1000	1000
34	1000	1000
35	1000	1000
36	1000	1000
37	1000	1000
38	1000	1000
39	1000	1000
40	1000	1000
41	1000	1000
42	1000	1000
43	1000	1000
44	1000	1000
45	1000	1000
46	1000	1000
47	1000	1000
48	1000	1000
49	1000	1000
50	1000	1000
51	1000	1000
52	1000	1000
53	1000	1000
54	1000	1000
55	1000	1000
56	1000	1000
57	1000	1000
58	1000	1000
59	1000	1000
60	1000	1000
61	1000	1000
62	1000	1000
63	1000	1000
64	1000	1000
65	1000	1000
66	1000	1000
67	1000	1000
68	1000	1000
69	1000	1000
70	1000	1000
71	1000	1000
72	1000	1000
73	1000	1000
74	1000	1000
75	1000	1000
76	1000	1000
77	1000	1000
78	1000	1000
79	1000	1000
80	1000	1000
81	1000	1000
82	1000	1000
83	1000	1000
84	1000	1000
85	1000	1000
86	1000	1000
87	1000	1000
88	1000	1000
89	1000	1000
90	1000	1000
91	1000	1000
92	1000	1000
93	1000	1000
94	1000	1000
95	1000	1000
96	1000	1000
97	1000	1000
98	1000	1000
99	1000	1000
100	1000	1000

VRTY 400 MM

ID BODU	Y	X
1	1000	1000
2	1000	1000
3	1000	1000
4	1000	1000
5	1000	1000
6	1000	1000
7	1000	1000
8	1000	1000
9	1000	1000
10	1000	1000
11	1000	1000
12	1000	1000
13	1000	1000
14	1000	1000
15	1000	1000
16	1000	1000
17	1000	1000
18	1000	1000
19	1000	1000
20	1000	1000
21	1000	1000
22	1000	1000
23	1000	1000
24	1000	1000
25	1000	1000
26	1000	1000
27	1000	1000
28	1000	1000
29	1000	1000
30	1000	1000
31	1000	1000
32	1000	1000
33	1000	1000
34	1000	1000
35	1000	1000
36	1000	1000
37	1000	1000
38	1000	1000
39	1000	1000
40	1000	1000
41	1000	1000
42	1000	1000
43	1000	1000
44	1000	1000
45	1000	1000
46	1000	1000
47	1000	1000
48	1000	1000
49	1000	1000
50	1000	1000
51	1000	1000
52	1000	1000
53	1000	1000
54	1000	1000
55	1000	1000
56	1000	1000
57	1000	1000
58	1000	1000
59	1000	1000
60	1000	1000
61	1000	1000
62	1000	1000
63	1000	1000
64	1000	1000
65	1000	1000
66	1000	1000
67	1000	1000
68	1000	1000
69	1000	1000
70	1000	1000
71	1000	1000
72	1000	1000
73	1000	1000
74	1000	1000
75	1000	1000
76	1000	1000
77	1000	1000
78	1000	1000
79	1000	1000
80	1000	1000
81	1000	1000
82	1000	1000
83	1000	1000
84	1000	1000
85	1000	1000
86	1000	1000
87	1000	1000
88	1000	1000
89	1000	1000
90	1000	1000
91	1000	1000
92	1000	1000
93	1000	1000
94	1000	1000
95	1000	1000
96	1000	1000
97	1000	1000
98	1000	1000
99	1000	1000
100	1000	1000

- Valbek & PONTEX – generální projektant RDS
- SHP – Stráský, Hustý a partneři s.r.o. – spolupráce na RDS
- ČVUT Fakulta stavební – expertní podpora investora
- PORR – generální dodavatel stavby
- VSL – dodávka dodatečného předpětí mostu
- Freyssinet – subdodávka vyrovnávací vrstvy z UHPC
- TBG Metrostav s.r.o. – dodavatel UHPC


Valbek

SHP

PONTEX S.R.O.®

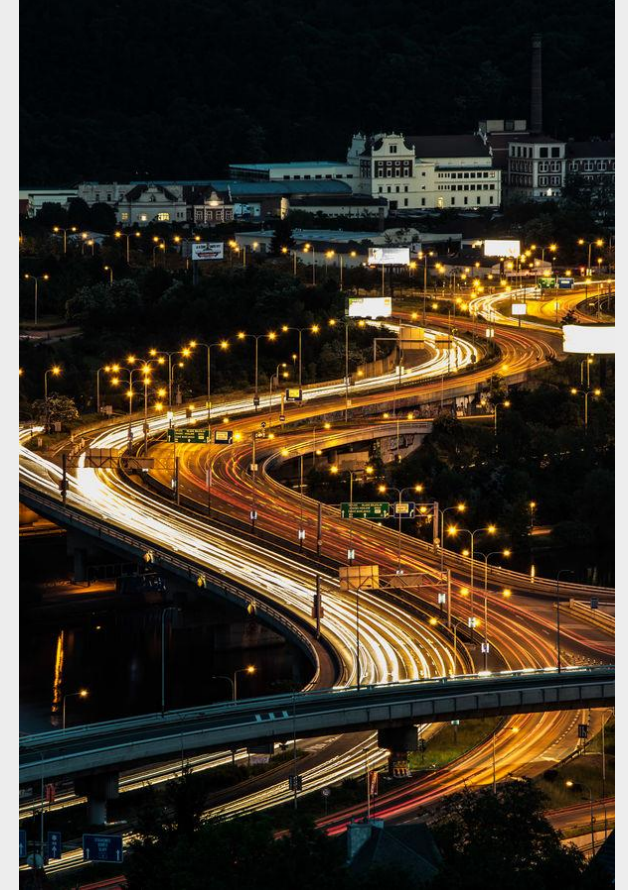

TBG METROSTAV

VSL

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE


FREYSSINET

PORR



DĚKUJI ZA POZORNOST