

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra technologie staveb**



Diplomová práce:

**Metody konzervace nevyužívaných sítí technické infrastruktury za  
použití druhotných surovin.**

Vypracoval: Bc. Václav Jíra

2019/2020

Vedoucí diplomové práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Odborný konzultant: Mgr. Václav Mráz, Ph.D.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

**I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

Příjmení: <u>Jíra</u>	Jméno: <u>Václav</u>	Osobní číslo: <u>424352</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra technologie staveb (k122)</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

**II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI**

Název diplomové práce: <u>Metody konzervace nevyužívaných sítí technické infrastruktury za použití druhotných surovin.</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Methods of conservation of unused technical infrastructure networks using secondary raw materials.</u>	
Pokyny pro vypracování: - Zpracování přehledu využívaných druhotných materiálů při sanaci inženýrských sítí. - Technologie pro provádění konzervace a likvidace sítí technické infrastruktury. - Přehled referenčních staveb s odkazy na časté poruchy a jejich příčiny. - Návrh možného provedení konzervace inženýrských sítí Odpočívka Humpolec. - Ověření metody zaplňování potrubí Cementopopílkovou suspenzí. - Návrh variantních řešení pro rekonstrukci Odpočívky Humpolec, porovnání a vyhodnocení jednotlivých opatření (zejména s ohledem na technologickou náročnost, technické parametry řešení, náklady daných opatření).	
Podrobněji viz příloha k zadání diplomové práce.	
Seznam doporučené literatury: - TP 146 Povolování a provádění výkopů a zásypů rýh pro inženýrské sítě ve vozovkách pozemních komunikací - TP 93 Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů - ČSN EN 14227-4, ČSN EN 14227-3 - Příručka popílek v betonu - ASVEP - Projektová dokumentace Odpočívka Humpolec	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>27.9.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5.1.2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

**III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ**

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

**ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a pouze za použití zdrojů a literatury uvedených v seznamu zdrojů a citované literatury.

V Praze dne: 04.01.2020

.....

Bc. Václav Jíra

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Rostislavu Šulcovi, Ph.D. za vřelý přístup při konzultacích, dále za odborné a přínosné rady v průběhu zpracování této diplomové práce. V neposlední řadě patří mé poděkování též panu Mgr. Václavu Mrázovi Ph.D., zaměstnanci katedry železničních staveb fakulty stavební Českého vysokého učení technického, za ochotu a strávený čas při odborných konzultacích a za věcné rady při vyhodnocování prováděných zkoušek.

### **Abstrakt:**

Tématem diplomové práce je stanovení možných variant provedení konzervace již nevyužívaných sítí technické infrastruktury. V úvodu práce je zpracován přehled druhotně využívaných materiálů ve stavitelství. Za použití těchto materiálů je navrženo a následně sledováno několik možných variant provedení konzervace nepoužívaných vedení technické infrastruktury. Uvažovány jsou možnosti zaplnění potrubí cementopopílkovou suspenzí a dále ověření použitelnosti druhotných surovin pro zásyp výkopů spojených s případnou likvidací inženýrských sítí. V této práci jsou ověřeny možnosti aplikace druhotných surovin pro konzervaci nevyužívaných sítí technické infrastruktury i s ohledem na náročnost provádění a ekonomický dopad.

### **Klíčová slova:**

- Druhotné suroviny
- Popílek
- Cementopopílková suspenze
- Inženýrské sítě
- Technická infrastruktura

**Abstract:**

The topic of the thesis is to determine possible variants of conservation of unused technical infrastructure networks. At the beginning of the thesis there is an overview of secondary materials used in construction. Using these materials, several possible variants of conservation of unused technical infrastructure lines are proposed and subsequently monitored. Possibilities of filling of pipelines with cement-ash slurry are considered as well as verification of the applicability of secondary raw materials for backfill excavation associated with eventual disposal of utilities. In this work, the possibilities of application of secondary raw materials for the preservation of unused technical infrastructure networks are verified with regard to the demanding implementation and economic impact.

**Keywords:**

- Secondary materials
- Fly ash
- Cement-slurry suspension
- Utilities
- Technical infrastructure

**Zkratky:**

PDPS	– projektová dokumentace pro provádění stavby
RDS	– realizační dokumentace stavby
SDK	– sádrokartonové
VEP	– vedlejší energetické produkty
EGS	– energosádrovec
SDO	– stavební a demoliční odpady
IS	– inženýrské sítě
CPS	– cementopopílková suspenze
SŽDC	– Správa železniční dopravní cesty
ČR	– Česká republika

## Seznam použitých norem a technických předpisů

- ČSN EN 206-1 - Specifikace, vlastnosti, výroba a shod
- ČSN EN 13108-1 - Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1:  
Asfaltový beton
- ČSN 73 6005 - Prostorové uspořádání sítí technického vybavení
- TP 83 - Technické podmínky: odvodňování pozemních  
komunikací
- TP 146 - Technické podmínky: povolování a provádění výkopů a  
zásypů rýh pro inženýrské sítě ve vozovkách pozemních  
komunikací
- TP 93 - Technické podmínky: návrh a provádění staveb PK  
s využitím popílků a popelů
- ČSN EN 13286-41 - Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými  
pojivy - Část 41: Zkušební metoda pro stanovení  
pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 12390-1 - Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné  
požadavky na zkušební tělesa a formy
- ČSN EN 12390-2 - Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování  
zkušebních těles pro zkoušky pevnosti
- ČSN EN 12390-3 - Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku  
zkušebních těles
- ČSN EN 14227-15 - Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 15:  
Zeminy stabilizované hydraulickými pojivy



## Obsah

Seznam použitých norem a technických předpisů	8
Obsah	9
Úvod	13
1. Inženýrské sítě	14
1.1. Vzájemné vztahy inženýrských sítí	15
1.2. Inženýrské sítě v silničním stavitelství	16
1.2.1. Silniční stavby v zastavěném území	16
1.2.2. Silniční stavby mimo zastavěné území	17
1.3. Dešťová kanalizace	18
1.3.1. Obecné požadavky na dešťové kanalizace	18
1.3.2. Konstrukční prvky dešťové kanalizace	19
1.3.3. Materiály	20
1.3.4. Životnost kanalizace	23
1.3.5. Diagnostika kanalizace	24
2. Konzervace a likvidace sítí technické infrastruktury	25
2.1. Důvody likvidace nevyužívaných IS	25
2.2. Související pojmy s opravami IS	27
2.3. Opravy kanalizací v původní trase	27
2.4. Metody využívané pro likvidaci a konzervaci IS	28
2.5. Metoda zaplnění cementopopílkovou suspenzí	29
2.5.1. Cementopopílková suspenze	30
2.5.2. Požadavky pro cementopopílkové suspenze	31
2.5.3. Výroba a doprava suspenze	32
2.5.4. Stanovení pevnosti v tlaku	33
2.5.5. Provádění výplně	34
2.5.6. Rizika použití metody	34

---

2.5.7. Výhody a nevýhody metody výplně potrubí.	35
2.5.8. Příklady použití CPS na území ČR	36
2.6. Cementopopílková suspenze – ekologické hodnocení	38
2.7. Metoda úplné likvidace IS – výkopová metoda	39
2.7.1. Stabilizát	39
2.7.2. Zásady používání stabilizátu	40
2.7.3. Pevnost stabilizátu v prostém tlaku	41
2.7.4. Objemové změny	41
2.7.5. Zpracování stabilizátu	41
2.7.6. Výhody a nevýhody použití metody likvidace potrubí a zpětného zásypu s použitím stabilizátu	42
2.7.7. Příklady použití popílkového stabilizátu na území ČR	43
3. Druhotné suroviny a jejich možné využití pro sanace IS	45
3.1. Vedlejší energetické produkty	46
3.1.1. Popílek	47
3.1.2. Energosádrovec	48
3.1.3. Struska	48
3.2. Stavební a demoliční odpady	49
3.2.1. Recyklace stavebního odpadu	49
3.2.2. Recyklované kamenivo	49
3.2.3. Cihelný recyklát	50
3.2.4. Asfaltový recyklát	50
3.3. Použitelnost druhotných surovin pro likvidaci IS	51
4. Praktická část diplomové práce	52
5. Likvidace rušeného potrubí – rekonstrukce odpočívky Humpolec	54
5.1. Rozsah likvidace potrubí	56
6. Metoda použitá při likvidaci IS – odpočívka Humpolec	57

---

6.1. Poloha rušeného potrubí	58
6.2. Zaplnění potrubí pomocí CPS	58
6.3. Receptura cementopopílkové suspenze (dodávka na stavbu)	60
6.4. Odběr zkušebních těles	60
6.5. Zkouška pevnosti v tlaku	62
6.7. Zhodnocení zvoleného postupu provádění	68
6.7.1. Vyhodnocení dosažených výsledků (CPS použita na stavbě)	70
7. Ověření použité receptury CPS 1,8 – laboratorní výroba	71
7.1. Výroba zkušebních těles	71
7.2. Zkouška pevnosti v tlaku	72
7.4. Vyhodnocení dosažených výsledků (laboratorní výroba těles)	74
8. Variantní návrh směsi CPS-VJ	75
8.1. Výroba zkušebních těles	75
9.2. Zkouška pevnosti v tlaku	76
8.4. Vyhodnocení dosažených výsledků (variantní směs CPS-VJ)	78
9. Rekapitulace výsledků zkoušek pevnosti v tlaku	79
10. Metoda úplné likvidace potrubí	80
10.1. Použití popílkového stabilizátu pro zásypy výkopů	82
10.2. Provádění výkopu	83
10.3. Provádění zásypu výkopů za použití stabilizátu	84
10.4. Hodnocení metody úplné likvidace	85
11. Vyhodnocení uvažovaných variant	86
11.1. Vyhodnocení potřeb na vybavenost staveniště	86
11.2. Vyhodnocení časové náročnosti navržených opatření	87
11.3. Vyhodnocení finančních nákladů na provedení opatření	88
11.4. Vyhodnocení kvality a kontrolovatelnosti	89
11.5. Celkové hodnocení	90

12. Závěr	91
Seznam použitých internetových zdrojů	92
Seznam knižních zdrojů	94
Seznam obrázků	96
Seznam tabulek	97
Seznam rovnic	97
Seznam příloh	98
13. Přílohy	99

## Úvod

Jako téma své diplomové práce jsem si zvolil „Metody konzervace nevyužívaných sítí technické infrastruktury za použití druhotných surovin.“ K tomuto výběru mne přivedl fakt, že v případě rekonstrukcí nejen dopravních staveb dochází často ke kolizím rušených a nově budovaných inženýrských sítí. Díky možnosti podílet se na stavbě rekonstrukce odpočívky Humpolec, jsem získal přehled o navrženém řešení a způsobu provádění zaplnění nevyužívaných sítí technické infrastruktury cementopopílkovou suspenzí.

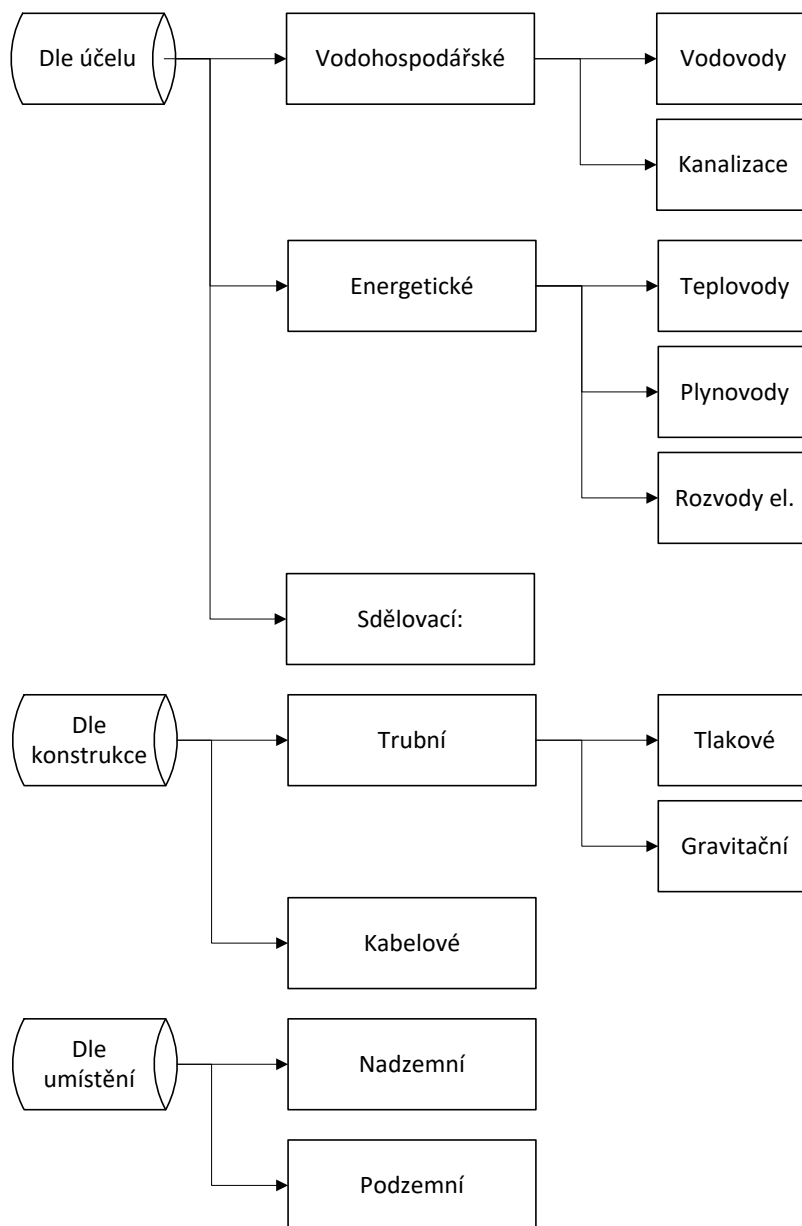
V teoretické části práce je zpracován přehled inženýrských sítí a obecných požadavků na jejich vedení v silničním stavitelství. V souvislosti s likvidací nevyužívaných sítí technické infrastruktury je součástí práce seznámení se v současné době využívanými postupy v této problematice a s tím související přehled referenčních staveb. Dále jsem provedl přehled druhotně využívaných materiálů a možnosti jejich využití při sanaci inženýrských sítí. V závěru teoretické části práce představím stavbu rekonstrukce odpočívky Humpolec, na kterou se v dalších částech diplomové práce odkazují.

V praktické části práce se zaměřuji na zhodnocení zvoleného postupu konzervace sítí technické infrastruktury na stavbě rekonstrukce odpočívky Humpolec. V průběhu provádění zaplňování potrubí cementopopílkovou suspenzí na stavbě jsem provedl odběr zkušebních vzorků, dále jsem v laboratorních podmínkách vytvořil dle použité receptury další zkušební vzorky. Také jsem navrhl recepturu se sníženým množstvím cementu. Na těchto zkušebních tělesech jsem provedl zkoušky pevnosti v tlaku pro stanovení vhodnosti použití směsí pro zaplnění potrubí pod pojízdnými plochami pozemních komunikací. Dále je provedeno zpracování alternativních způsobů provedení vyplnění, či likvidace původních inženýrských sítí. V závěru práce je zpracováno vyhodnocení navržených variant zejména s ohledem na technologickou náročnost, technické parametry řešení a náklady na provedení daného opatření.

## 1. Inženýrské sítě

Inženýrské sítě slouží především k přenosu surovin, energií a informací. Již 2500 let před Kristem vznikaly první gravitační vodovody, které umožnily lokální zavlažování zemědělské půdy a zároveň umožnily rozvoj městských sídel. Rozvoj inženýrských sítí je ukazatelem životní úrovně společnosti. Komplex inženýrských sítí považujeme za technickou infrastrukturu měst. [21]

Inženýrské sítě rozeznáváme:

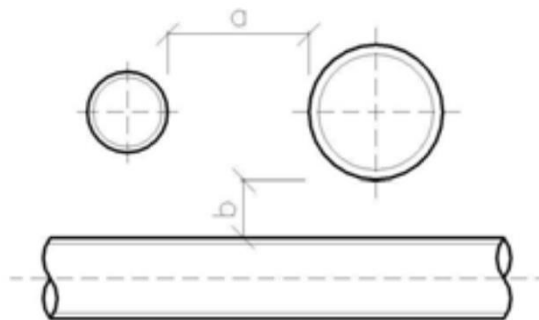


Obrázek 1 - Schéma rozdělení inženýrských sítí

## 1.1. Vzájemné vztahy inženýrských sítí

Vzhledem k hustotě vedení IS dochází nevyhnutelně ke křížení a souběhu různých sítí. Při souběhu, nebo křížení sítí nemůže nastat situace, že z důvodu vzájemné vzdálenosti vedení dochází k negativnímu ovlivnění provozu v těchto sítích. Z toho důvodu je nutné dodržovat odstupové vzdálenosti, které jsou různé s ohledem na přenášené medium.

Odstupovou vzdáleností při souběžném vedení sítí je rozuměna horizontální vzdálenost od líce vedených sítí (viz vzdálenost a obr. č. 2). Při křížení sítí je odstupová vzdálenost rovna vertikální vzdálenosti líců vedených sítí (viz vzdálenost b obr. č. 2)



Obrázek 2 - souběh a křížení vedení IS [21]

Odstupové vzdálenosti upřesňuje ČSN 73 6005, kdy dodržováním předepsaných vzdáleností dochází k eliminaci vzájemného ovlivňování přenášených médií a tím zamezení případných výbuchů plynů, či šíření bludných proudů, atd..

[38]

Druh sítě	Silové kabely do			Sdělovací kabely	Plynovodní potrubí		Vodovodní sítě a přípojky	Stokové sítě a přípojky	
	1 kV	10 kV	35 kV		0,005 Mpa	0,3 Mpa			
Silové kabely do	1 kV	0,05	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5
	10 kV	0,15	0,15	0,2	0,8	0,4	0,6	0,4	0,5
	35 kV	0,2	0,2	0,2	0,8	0,4	0,6	0,4	0,5
Sdělovací kabely		0,3	0,8	0,8	----	0,4	0,4	0,4	0,5
Plynovodní potrubí	0,005 Mpa	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,0
	0,3 Mpa	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	1,0
Vodovodní sítě a přípojky		0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Stokové sítě a přípojky		0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,6	---

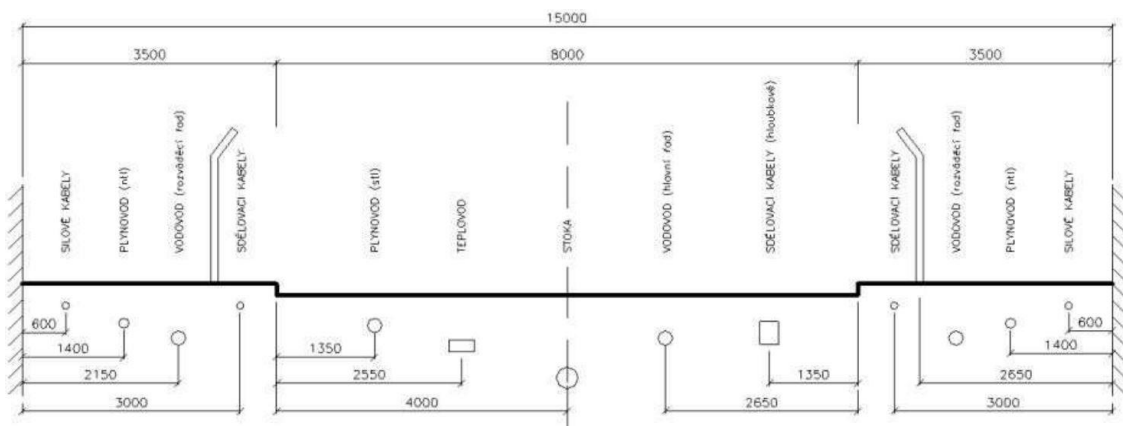
Obrázek 3 - příklad odstupových vzdáleností IS [38]

## 1.2. Inženýrské sítě v silničním stavitelství

Inženýrské sítě jsou nedílnou součástí dopravního stavitelství, důležitá je především správná koordinace a umístění dílčích vedení technické infrastruktury. Již v době návrhu IS je nutné brát v potaz možné poruchy a s tím související opravy, je tedy vhodné umístění IS tak, aby při případných opravách došlo k co nejmenšímu porušení dotčeného území.

### 1.2.1. Silniční stavby v zastavěném území

Obzvlášť na území měst je vedeno velké množství inženýrských sítí, právě proto je nutná koordinace umístění inženýrských sítí s plánovanou výstavbou silničních komunikací, chodníků a zelených pásů. Používají se všeobecně uznávaná pravidla pro umístění IS do komunikací, kdy při návrhu prostorového uspořádání IS v prostoru městské komunikace lze orientačně vycházet z vzorových příčných profilů. Vzorové příčné profily jsou zpracovány v různých šířkách dopravního prostoru.



Obrázek 4 - IS vzorový příčný profil [21]

V případě, že přidružený prostor dosahuje šířky alespoň 4,5m lze do vyhrazeného pásma veřejného osvětlení umístit výsadbu stromů a křovin. V tom případě je nutné dodržet vzdálenost od vnějšího povrchu vedení k ose výsadby alespoň 1 m tak, aby nedošlo k narušení vedení vlivem růstu kořenového systému.

[21, 38]



### 1.2.2. Silniční stavby mimo zastavěné území

V souvislosti s výstavbou silnic a dálnic jsou budovány inženýrské sítě zajišťující bezpečný provoz na těchto komunikacích. Nejedná se pouze o samotnou trasu komunikace, ale je nutné zajistit i provoz na obslužných zařízeních jako jsou například odpočívadla a čerpací stanice pohonných hmot.

#### Výstavba pozemních komunikací:

Při výstavbě silnic a dálnic je zásadní zajistit správný odvod dešťových vod a tím zajistit plynulý a bezpečný provoz i za náročných povětrnostních podmínek. Odváděná povrchová voda z tělesa komunikace nesmí nepříznivě ovlivňovat kvalitu okolních povrchových a podzemních vod. Souběžně s hlavními silničními tahy jsou často vedeny i kabely telekomunikačního vedení a sdělovací kabely zajišťující chod informačních tabulí.

- Silové kabely – veřejné osvětlení
- Sdělovací kabely – zabezpečovací systémy provozu silnic a dálnic, telekomunikační spojení, SOS hlásky
- Dešťová kanalizace – zajištění odvodnění povrchu komunikací

#### Obslužná zařízení:

Pro provoz obslužných zařízení silnic a dálnic, jako jsou odpočívadla a čerpací stanice pohonných hmot, je důležité zajištění zásobování provozními hmotami a zároveň odvod odpadů vzniklých provozem. Pro provoz obslužných zařízení silnic a dálnic je důležité z důvodu dodržení bezpečnosti, hygieny a zajištění požadovaného komfortu napojení na následující IS:

- Vodovod - provoz ČS PHM, provoz sociálních zařízení, požární zabezpečení
- Splašková kanalizace – provoz sociálních zařízení
- Dešťová kanalizace – odvod srážkových vod, odlučování ropných látek
- Silové kabely – provoz ČS PHM, provoz sociálních zařízení, veřejné osvětlení
- Sdělovací kabely – kamerové systémy, provoz ČS PHM
- Plynovod – provoz ČS PHM

[21, 25]

### **1.3. Dešťová kanalizace**

Tradičně vznikaly kanalizace jednotné, tedy sloužily k přenosu všech druhů odpadních vod bez ohledu na jejich původ. V současnosti je stále ještě na území některých měst, a především menších měst a vesnic provozována jednotná kanalizační síť, avšak vzhledem k mnoha důvodům je od tohoto způsobu ustupováno. V současnosti je snaha maximálně využít oddílné kanalizace a co největší množství dešťových vod vypouštět přímo do místních vodotečí či zasakovat do podzemních vod. Nakládání se srážkovými vodami legislativně řeší zákon o vodách č. 274/2001 Sb. a dále vyhláška č. 501/2006 Sb. ke stavebnímu zákonu, která uvádí priority v hospodaření s dešťovými vodami.

[21]

#### **1.3.1. Obecné požadavky na dešťové kanalizace**

Dešťová kanalizace zajišťuje odvodnění zpevněných i nezpevněných ploch, dále zajišťuje bezpečné užívání staveb. Prostřednictvím dešťové kanalizace lze docílit efektivního využití srážkových vod, s ohledem na nedostatek spodních vod v letních měsících je toto zacházení do budoucna zcela nezbytné.

Srážkové vody je nutné dále rozlišovat na znečištěné a neznečištěné. Znečištěné srážkové vody vznikají kontaktem se znečištěným terénem, jedná se tedy o vody odtékající z průmyslových či zemědělských areálů, ale jen po dobu, než dojde k oplachu terénu. Neznečištěné srážkové vody odtékají z čistých povrchů, například ze střech, pěších zón, parků a komunikací s nízkou intenzitou provozu. Znečištěné srážkové vody mají být dle ČSN 75 6101 čištěny.

Zásady odvodnění pozemních komunikací upřesňují technické podmínky TP 83, které stanovují požadavky na projektování a provádění objektů zajišťující odvodnění komunikací. Zásadní je spolehlivé a bezpečné odvedení zachycených srážkových vod do vhodného recipientu, za tímto účelem se využívají stávající vodoteče, či za použití různých úprav okolního terénu vsakování do podzemních vod. V případě odvádění srážkových vod s vysokým obsahem chloridů způsobeným používáním chemických rozmrazovacích látek pro údržbu komunikací v zimním období, jedná se o takzvané znečištěné srážkové vody a je nutné s nimi náležitě zacházet.

[36]

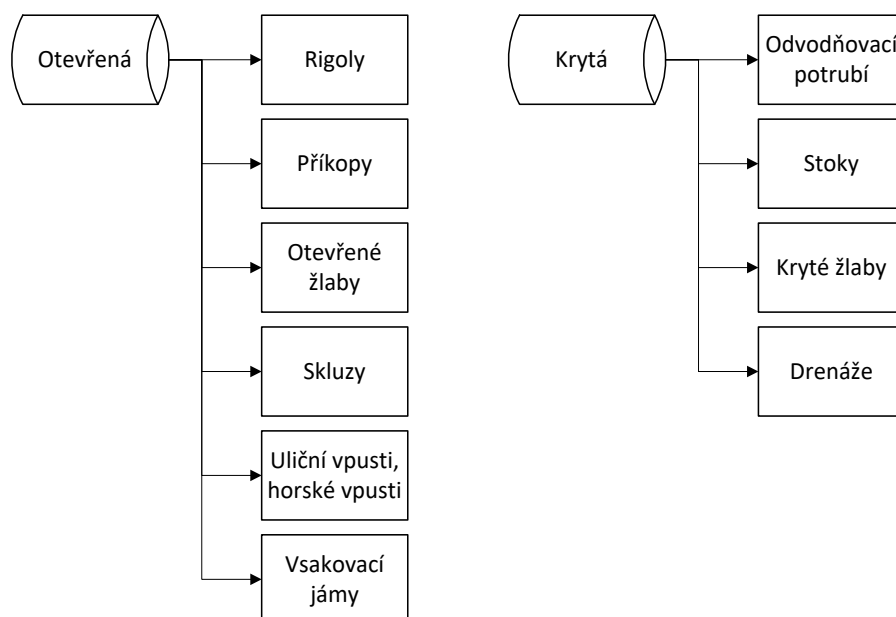
### 1.3.2. Konstrukční prvky dešťové kanalizace

Dešťová kanalizace nejen v oboru silničního stavitelství je tvořena celou řadou dílčích konstrukčních systémů. V místech jako jsou například odpočívky, nebo kde je zvýšené riziko úniku ropných látek hrozí kontaminace odváděných srážkových vod, a proto je z tohoto důvodu nutné v těchto lokalitách vybavit dešťovou kanalizaci odlučovači ropných látek.

Dešťové usazovací nádrže zajišťují separaci vstupující vodní látky od nežádoucích příměsí. Především se jedná o písky a hrubé nečistoty, které by mohly způsobit zanesení hůře přístupných vedení. Můžeme rozeznat usazovací nádrže s trvalým zadržením či bez trvalého zadržení tzv. průtočné.

Pokud je potřeba zadržení vody pro další využití používají se takzvané retenční nádrže, které zároveň při přívalových deštích chrání kanalizační systém před přehlcením. Používají se uzavřené retenční nádrže nebo otevřené ve formě nádrží nebo malých rybníků, které v blízkosti průmyslových areálů plní zároveň funkci požárních nádrží.

Základním prvkem dešťové kanalizace jsou odvodňovací zařízení. Dle ČSN 73 6101 rozdělujeme odvodňovací zařízení na otevřená a krytá.



Obrázek 5 - Odvodňovací zařízení

### 1.3.3. Materiály

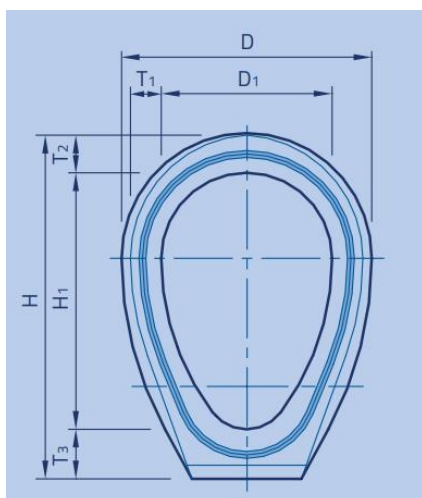
V současnosti je na trhu řada systémových řešení na provádění kanalizačních vedení. Dle okrajových podmínek a požadavků na dané vedení kanalizace lze zvolit materiál potrubí. Materiál kanalizačního vedení je zásadní pro volbu správného postupu provádění prací, ale také je zásadní pro výslednou cenu a životnost díla. Materiály používané pro kanalizační vedení musí být odolné vůči otěru, korozi, chemickým látkám, dále musí být pevné a nepropustné. V případě vedení odpadních vod jsou nežádoucí průsaky a úniky vedené látky do okolí potrubí.

[21]

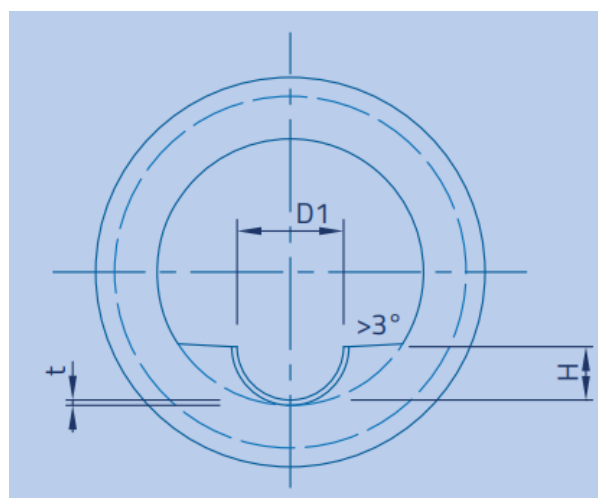
#### Betonové kanalizační potrubí:

Používají se betonové či železobetonové prefabrikované trouby. V současné době nejrozšířenější řešení stokových sítí. Trouby jsou dodávány v provedení kruhovém, vejčitém a žlabovém. Kvůli manipulaci jsou trouby větších rozměrů vybaveny manipulačními úchyty. Z důvodu zajištění těsnosti spojů a zvýšení efektivity pokládky trub jsou používány hrdlové spoje s pryžovým těsněním. Betonové trouby jsou dostupné v rozměrech DN 300 až DN 2200 mm. Pro dosažení lepších užitných vlastností a delší životnosti se betonové trouby osazují z vnitřní strany čedičovou výstelkou. Při pokládce jednotlivých segmentů je důležité dodržet technologický předpis a dodržovat zásady BOZP.

[21, 22]



Obrázek 6 - Řez vejčitou troubou [22]



Obrázek 7 - Řez žlabovou troubou [22]

### Potrubí z kameniny:

Výrobky pro kameninové potrubí se vyrábějí o průměrech od DN 100 do DN 1400 mm a spojovány jsou pomocí hrdlových a bez hrdlových spojů. Hrdlové spoje jsou těsněny pomocí pryžových těsnění nebo pružnou vrstvou polyuretanu, který je nanesen na hrdla trub. Kameninové trouby se díky glazuře vyznačují vysokou pevností a odolností proti účinkům chemických látek. Nevýhodou je vysoká hmotnost.

[23]



Obrázek 8 - Hrdlová trouba s pryžovým těsněním [23]

### Potrubí z plastu:

Plast je v současné době nejpoužívanější materiál pro kanalizační potrubí. Potrubí z plastu splňují vysoké požadavky na mechanickou i chemickou odolnost a zároveň minimálně zatěžují životní prostředí. Spojování probíhá pomocí hrdlových spojů s pryžovým těsněním, které zaručují vodotěsnost a plynotěsnost. Plastové potrubí je vyráběné v provedení s hladkou stěnou, nebo s žebrovanou stěnou. Limitní hodnotou pro použití plastových trub je jejich průměr, který je běžně vyráběn do 1000 mm.

Plasty dále rozlišujeme dle chemického složení:

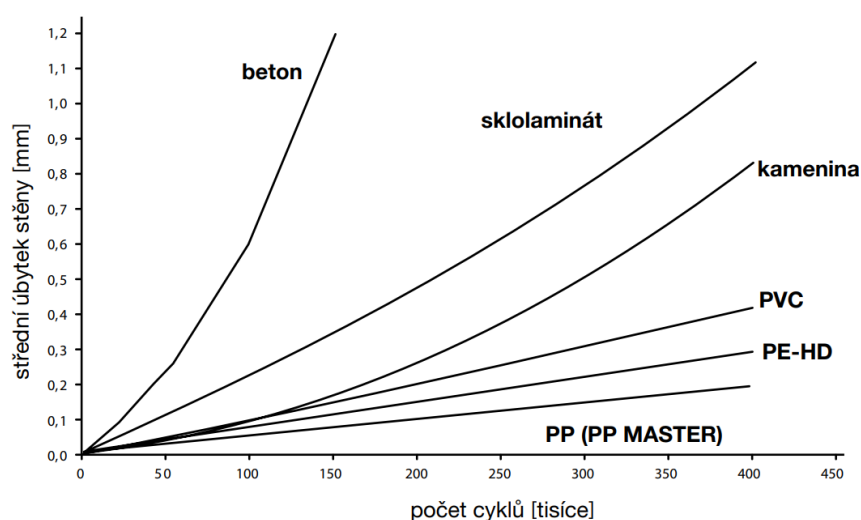
- PP (polypropylen)
- PP-HM (polypropylen s vysokou pevností)
- PVC (polyvinylchlorid)

Právě použití polypropylénu je v dopravním stavitelství nejčastější z důvodu jeho mechanických vlastností, které umožňují vyrábět velké průměry trub. Jsou vyráběny v různých tvarových provedení, kdy vnitřní strana je hladká a vnější strana

žebrovaná, tím je docílena vysoká odolnost proti případnému poškození průrazem při zásypu stavební jámy.

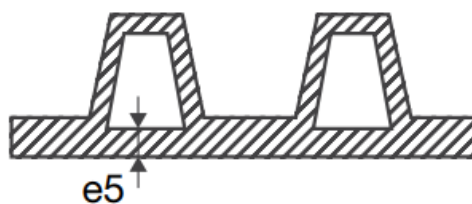
Plastové potrubí se všeobecně vyznačuje dobrou odolností proti abrazi ve vodním prostředí. Abraze udává úbytek tloušťky stěny vlivem obrušování pohybem přenášeného média. Abraze materiálů používaných pro kanalizační potrubí je znázorněna v následujícím grafu, kde je patrný rozdíl polypropylenového potrubí oproti betonovým trubním vedením.

[24]



Obrázek 9 - Abraze materiálů používaných pro kanalizace [24]

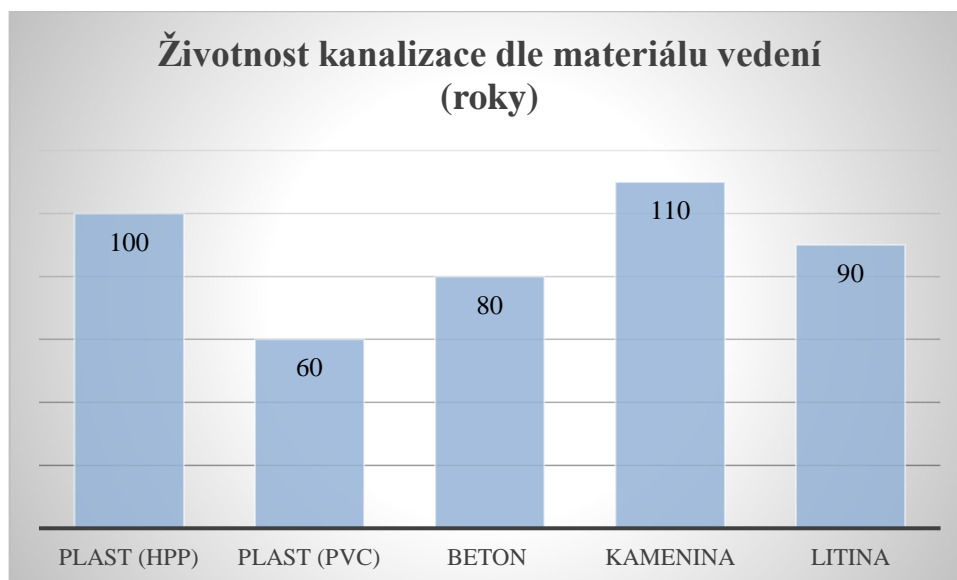
Obrázek č. 10 znázorňuje řez stěnou potrubí kanalizace z materiálu polypropylen s tloušťkou stěny pod žebrem 3 mm. Jedná se o potrubí značky Pip Life typ Pragma Hihway e5.



Obrázek 10 - Systém Pragma Highway [23]

### 1.3.4. Životnost kanalizace

Jedním z hledisek životnosti kanalizace jako celku je životnost materiálu, ze kterého je vedení stokové sítě. Již v tomto aspektu jsou velmi rozdílné hodnoty viz obrázek č. 11.



Obrázek 11 - Graf životnosti materiálů kanalizací

Jako další aspekt výsledné životnosti díla je kvalitní návrh a pečlivé provedení stavebních prací. V případě chybně provedeného návrhu trasy může docházet v kritických místech, jako jsou odbočky, či změny sklonů potrubí k zanášení a tím se způsobí omezený průtok kanalizací. V momentě kdy nastane extrémní průtok kanalizací, například při intenzivních deštích, je zanesené místo náchylné na porušení celistvosti vedení kanalizace.

Pro zajištění maximální spolehlivosti a životnosti kanalizace jako celku je důležité provádět pravidelnou údržbu a diagnostiku. Údržba spočívá v čištění kanalizačních vedení, odstraňování nánosů z lapačů hrubých nečistot a usazovacích nádrží. Speciální údržbu vyžadují například odlučovače ropných látek, kde je řada filtrů a přepadových nádrží.

### 1.3.5. Diagnostika kanalizace

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu udává vlastníkovi kanalizace či vodovodu povinnost zajistit jejich plynulý a bezpečný provoz. Zároveň musí být ve stavu, který umožňuje provoz bez negativních vlivů na životní prostředí a umožňuje neustálý odvod odpadních vod.

Pro splnění zákonem výše uvedených povinností je nezbytné provádět pravidelné technické prohlídky, odbornou diagnostiku a potřebnou údržbu všech součástí kanalizace.

Metody provádění diagnostiky odpadního vedení:

- Vizualní způsob – prohlídka průlezem
- Televizní kamerou – optická prohlídka vedení
- Geotechnickým průzkumem

Výstupem těchto prohlídek je inspekční protokol z vizuální prohlídky, videozáznamy, fotodokumentace závad, přehledná situace se zákresem kontrolovaných tras vedení, včetně vyznačení míst se závadami. Výstupy z prohlídek slouží jako podklady po případné rekonstrukce a lokální opravy.

[10]



Obrázek 12 - Příklad statického porušení betonových trub kanalizace [10]



---

## 2. Konzervace a likvidace sítí technické infrastruktury

Jak již bylo řečeno, zákon č. 274/2001 Sb. udává vlastníkově vedení povinnost zajistit nejen bezpečný provoz, ale i provoz, který nebude negativně ovlivňovat životní prostředí. Právě z těchto důvodů není vhodné, aby vyřazené sítě technické infrastruktury, které již nejsou využívány, zůstávaly ve své poloze a stavu, který nezaručuje bezpečné užívání provozu v prostoru nad tímto vedením.

Vedení inženýrských sítí jsou s přibývajícím lety provozu víc a víc náchylnější na poruchy a závady. Ovšem v případě vedení inženýrských sítí, které jsou v provozu a provádí se pravidelná diagnostika stavu lze havarijnímu stavu předejít pravidelnou údržbou. Obtížnější situace je však u vedení, která nejsou využívána, leckdy ani není známo kudy vedou. V tomto případě materiál inženýrských sítí stářím degraduje a je otázkou kdy a jak se závada projeví. V případě porušení stokových sítí, nebo velkokapacitní kanalizace dochází nejčastěji k nepředvídatelným propadům či závalům.

[21, 25, 26]

### 2.1. Důvody likvidace nevyužívaných IS

V případě instalace nových inženýrských sítí v blízkosti původního vedení vzniká riziko šíření bludných proudů z důvodu nesplnění odstupových vzdáleností. Dále jakékoliv stavební práce, při kterých dochází ke snížení nivelety terénu, tedy i krytí tohoto vedení hrozí v případě kombinace zaplavení prostor nevyužívaných vedení a účinků mrazu porušení stability a celistvosti vedení. Dalším velkým nebezpečím je riziko shromažďování nežádoucích plynů v nevyplněných prostorech pod úrovní terénu.

Riziko propadů se zvyšuje s účinky spodní vody, která způsobuje degradaci materiálu stokových sítí. Obrázek č. 13 ukazuje následky zřícení zděné stokové sítě, právě u zděné konstrukce došlo vlivem podzemní vody k vymílání spár a tím byl způsoben propad souvrství komunikace z července 2016. V tomto případě se jednalo o stále využívanou stokovou síť, která podléhala pravidelným revizím.

Z toho, co je uvedeno výše vyplývá, jak vysoké riziko vzniká z opomenutí či úmyslného zachování nezajištěných, nevyužívaných sítí technické infrastruktury. V případě vzniku poruchy, která zaviní újmu na zdraví, může být tento čin definován jako ublížení na zdraví z nedbalosti.



*Obrázek 13 - Propad komunikace [11]*

Obrázek č. 14 zobrazuje propad vozovky ze srpna 2019 z důvodu havárie stokové sítě z betonových trub vybudované v roce 1935.



*Obrázek 14 - propad betonové kanalizace [12]*

## 2.2. Související pojmy s opravami IS

- **Modernizace** – Prováděné práce související s rozšířením vybavenosti nebo použitelnosti výrobku.
- **Obnova** – Práce spojené s výstavbou nových inženýrských sítí v odlišné či původní trase, ovšem při zachování původní funkce a účelu užívání. Dále se nemění rozměrové ani technické parametry vedení IS.
- **Rekonstrukce** – Výsledkem provádění prací je změna původního účelu nebo změna technických či rozměrových parametrů vedení.
- **Udržování staveb** – Tímto pojmem jsou chápány práce na opravách, při kterých dochází k odstraňování závad nebo opotřebení tak, aby majetek byl provozuschopný. Prováděním údržbových prací lze zpomalit opotřebení a předcházet haváriím.

[25, 26]

## 2.3. Opravy kanalizací v původní trase

V případě, kdy dochází k obnově či rekonstrukci odpadního vedení v trase původního vedení a dochází k úplnému odstranění původní kanalizace je řešení likvidace původního vedení velice snadné.

Prováděné práce lze zjednodušeně shrnout do těchto kroků:

- zaměření trasy opravované kanalizace
- v případě nutnosti zajisti náhradní odvod odpadních vod
- výkopové práce
- demolice rušené kanalizace
- pokládka nového odpadního vedení
- zemní práce
- zkoušky potrubí
- zprovoznění nového potrubí
- likvidace odpadů
- dokončovací práce

[21]

## 2.4. Metody využívané pro likvidaci a konzervaci IS

### Varianta zaplnění rušeného potrubí:

V současné době je ve stavitelství pro likvidaci rušených inženýrských sítí hojně využívána metoda výplně potrubí materiálem, který zcela vyplní prostory potrubí a v čase ztuhne. Tato metoda je upřednostňována především z důvodu jednoduchosti provádění. Pro tyto účely jsou používány nejčastěji suspenze, které svou konzistencí zajišťují vyplnění i hůře přístupných prostor. Právě cementopopílkové suspenze o různých třídách pevnosti jsou nejčastěji využívány pro výplň podpovrchových prostor nejen v České republice, ale i v zahraničí.

Materiály vhodné pro použití jako výplň rušeného potrubí:

- Cementopopílkové suspenze (různé třídy pevností)
- Hrubé betonové směsi
- Štěrkopísky pro zaplnění šachet

[43,13]

### Varianta úplné likvidace:

Variantním řeším likvidace inženýrských sítí je jejich kompletní vyjmutí, při kterém dochází k rozsáhlým výkopům. Tato metoda je oproti variantám výplně potrubí trvalejší a vhodnější v případech, kdy jsou kladeny požadavky na nedotčené území, jako například při odlišném využití dané lokality.

[21]

*\* Dále je v této práci zpracován přehled staveb, kde byly výše uvedené metody použity.*

## 2.5. Metoda zaplnění cementopopílkovou suspenzí

V případě provádění prací, kdy původní, již nevyužívaná kanalizace, je nahrazena novou v odlišné trase, je možnost rušenou kanalizaci zanechat ve své stávající poloze, ale je nutno ji zakonzervovat. Technologie výplně cementopopílkovou suspenzí umožňuje konzervaci hůře přístupných až nepřístupných prostor jako např. podpovrchové kolektory, kanalizační sítě, propusti pod komunikacemi, a to bez nutnosti provádění zemních prací. V důlním průmyslu je tato metoda využívána k likvidaci nepotřebných důlních děl. Při použití metody tlakového plnění lze docílit dokonalého zaplnění podpovrchových prostor.

Cementopopílková suspenze má další využití například jako ochranná vrstva mezi výkopem a nově zkonstruovaný vedením kanalizací, vodovodů, atd. Takto provedeným opatřením lze docílit ochranu potrubí před účinky tlaku okolních hornin. S ohledem na požadavky a okolní vlivy se volí výsledná pevnost a konzistence používané suspenze.

[13, 14]

Mimo výše uvedené je cementopopílková suspenze využívána i jako náhrada hutněných zásypů v místech, kde například z důvodu otřesů nelze hutnit pomocí hutnicích prostředků. Suspenze je dále aplikována jako zálivka hrubého kameniva v podkladních vrstvách podlah u halových objektů. Používá se také jako náhrada tzv. hubeného betonu.

[14]

Tato metoda je přínosná i z důvodu poměrně vysoké spotřeby elektrárenského popílku. Právě popílek je řazen k energetickým odpadům a jeho druhotné využití ve stavebnictví přispívá k eliminaci povrchového skládkování.



### 2.5.1. Cementopopílková suspenze

Cementopopílková suspenze, jinak také označována CPS, je směs elektrárenského popílku, kameniva, cementu a vody. Při výrobě směsi dochází ke zpracování velkého množství popílku. Jedná se o směs ve velmi tekutém stavu, právě díky své konzistenci umožňuje vyplnění nedostupných prostor až do vzdálenosti několik desítek metrů. Po uložení suspenze velmi rychle tuhne a nabírá na pevnosti.

[27]



Obrázek 15 - Cementopopílková suspenze

## 2.5.2. Požadavky pro cementopopílkové suspenze

Požadavky na kvalitu cementopopílkové suspenze a její parametry jsou závislé na účelu použití a umístění v konstrukci. Obecně lze rozdělit požadavky na pevnost v tlaku a provedení prací.

[27, 31, 32]

### Pevnost v tlaku:

Požadavek na výslednou pevnost suspenze lze převzít z technických podmínek.

- TP 146 – Povolování a provádění výkopů a zásypů pro inženýrské sítě ve vozovkách pozemních komunikací
  - Požadavek na směsi určené pro zásypy dle ČSN EN 14227 – 1
  - Průměrná pevnost v tlaku 1,0 MPa
- TP 93 – Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů.
  - Požadavek na PSt/FPP pro aktivní zónu, obsypy a zásypy objektů, spodní podkladní/ochranné vrstvy dle ČSN EN 14227–14
  - Pevnost v tlaku 2,0 MPa

[31, 32]

### Provedení výplně:

Předpokladem kvalitně provedeného zaplnění potrubí je použití suspenze o předepsaných parametrech. Právě úplné vyplnění potrubí je podmínkou pro dosažení požadovaného efektu, tedy zamezení případným propadům či nežádoucímu shromažďování jiných látek.

Právě pro úplné zaplnění i hůře přístupných míst potrubí je používána suspenze s velmi tekutou konzistencí. Dále je nutné provést před započítím plnění potrubí diagnostiku současného stavu vedení, ověří se tím průchodnost aplikované suspenze.

[27]

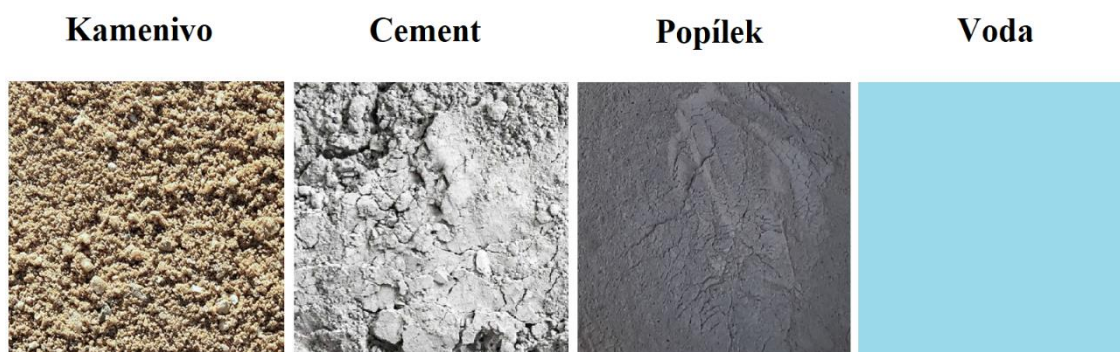
### 2.5.3. Výroba a doprava suspenze

Výroba probíhá v betonárnách, kdy smísením drobného kameniva, cementu, popílku a vody ve stanoveném poměru, vznikne suspenze o požadovaných vlastnostech.

Složky cementopopílkové suspenze (příklad):

- **Cement** ( $\pm 12\%$ )
- **Popílek** ( $\pm 45\%$ )
- **Kamenivo** ( $\pm 17\%$ )
- **Voda** ( $\pm 26\%$ )

[13, 28]



Obrázek 16 - Složky cementopopílkové suspenze [13, 28]

Právě vysoký podíl vody zaručuje požadovanou konzistenci směsi. Pro použití jako výplň potrubí či těžko přístupných míst je požadována konzistence čerstvé směsi S5. Velmi vysokou tekutostí je splněn požadavek na dopravu směsi v zaplňovaném potrubí či nedostupném prostoru.

Suspenze je dopravována z výroby na místo určení pomocí cisteren nebo domíchávači s kapacitou až  $9 \text{ m}^3$ . V případě potřeby lze cementopopílkovou suspenzi přepravovat v místě stavby čerpadly na beton. Pokud se jedná o velkou dodávku cca nad  $1000 \text{ m}^3$  lze uvažovat o použití mobilních betonáren.

[13, 14]



#### 2.5.4. Stanovení pevnosti v tlaku

Pro stanovení pevnosti v tlaku se postupuje dle ČSN EN 12390 - 2 Zkoušení ztvrdlého betonu. Stanovení pevnosti v tlaku se provádí na zkušebních krychlich o hraně 150 mm.

##### Postup zkoušky:

- Volba typu zkušební formy.
- Ošetření stěn forem tenkou vrstvou separačního prostředku tak, aby bylo zabráněno přilnutí zkoušeného materiálu k formě.
- Plnění forem
- Zhutnění směsi ve formě, nesmí dojít k segregaci materiálu. Hutnění se provádí na vibračním stole nebo pomocí propichovací tyče.
- Odstranění přebytečného betonu z formy.
- Proveďte se označení zkušebních těles.
- Zkušební tělesa zůstanou minimálně 16 hodin, maximálně však 3 dny ve formě, přičemž je nutno zamezit otřesům a vysušování vzorku. Teplota okolního prostředí je stanovena na  $20 \pm 5$  °C.
- Po vyjmutí z forem jsou zkušební vzorky do doby zkoušky umístěny do vodní lázně o teplotě  $20 \pm 5$  °C.
- Deklarovaná zkouška pevnosti se provádí po 28 dnech od výroby zkušebních těles.

[28, 29, 39]



Obrázek 17 - Zkušební forma (krychle 150x150x150 mm)

### 2.5.5. Provádění výplně

Cementopopílkovou suspenzi lze v místě stavby dopravovat pomocí čerpadel. Pro úplné zaplnění konstrukce je zásadní rozdělení na dílčí úseky s ohledem na možné přístupy pro aplikaci vyplňující hmoty. Právě zajištění kompletního zaplnění vzdálených a hůře dostupných míst může být komplikované. Pro přístup k plnění je vhodné používat původní vstupy do potrubí, tedy například kanalizační šachty či uliční vpusti. Dílčí plněné úseky by měly být, pokud možno přímé a o délce s ohledem na průměr plněného potrubí.

#### Postup provádění výplně potrubí:

- Vyznačení trasy potrubí určeného k zaplnění.
- Diagnostika stavu potrubí.
- Příprava vhodných přístupových míst pro aplikaci cementopopílkové suspenze.
- Plnění potrubí zvolenou suspenzí.
- Pomocí tlaku suspenze dojde k vytěsnění vzduchu z potrubí a kompletnímu zaplnění.
- Dokončovací práce.

[13, 15]

### 2.5.6. Rizika použití metody

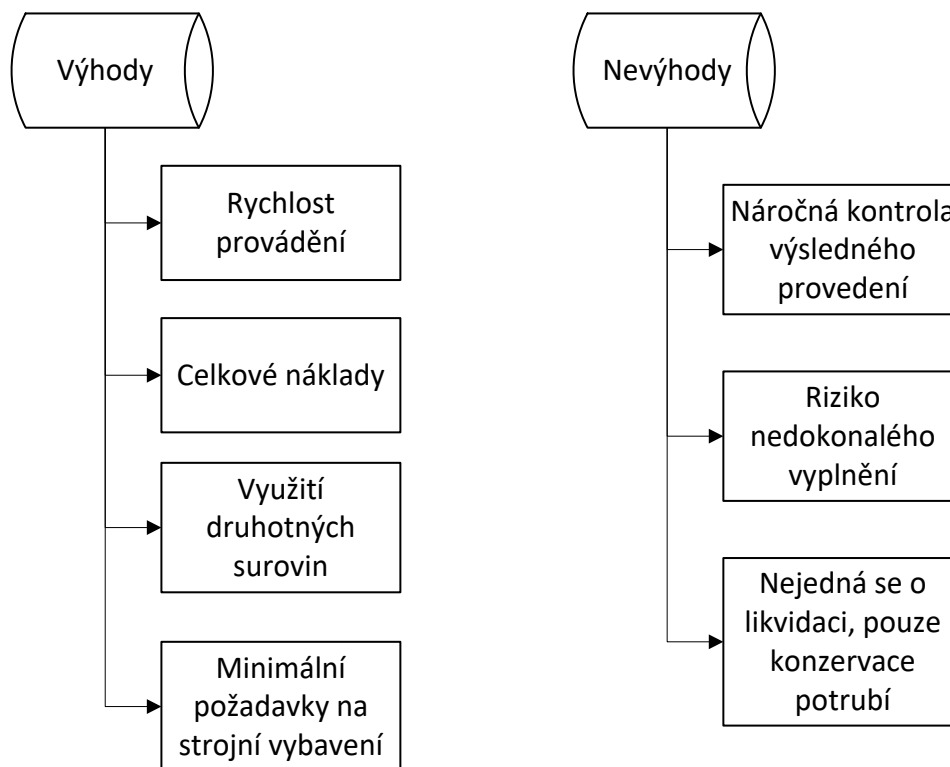
Hlavním problémem je velmi náročná kontrola provedené práce. Právě zajištění úplného zaplnění potrubí, i v náročně přístupných místech, jako jsou odbočky potrubí a v místech změn sklonů, je obtížné.

Pokud na trase zaplňovaného potrubí jsou poruchy v celistvosti nebo dokonce dochází k závalům potrubí je riziko zamezení prostupu aplikované suspenze či naopak hrozí pomocí prasklin a netěsností nekontrolovatelné šíření dopravované suspenze i mimo trasu potrubí.

Pro zamezení případným komplikacím je důležité dodržovat technologické předpisy a mít dokonalou znalost okolních podmínek.

[15]

### 2.5.7. Výhody a nevýhody metody výplně potrubí.



Obrázek 18 - schéma výhod a nevýhod zaplňování potrubí

## 2.5.8. Příklady použití CPS na území ČR

### Zaplnění mezikruží mezi potrubím HOBAS a ŽB potrubím

Místo:	Přerov
Stavba:	Výstavba nového sběrače
Plnicí materiál:	Cementopopílková suspenze CPS 3,5 (pevnost 3,5 MPa)
Plněno:	1.200 m <sup>3</sup>
Datum:	06/2015

Plněno bylo mezikruží kanalizačního řádu dl. 425 m, tento úsek byl rozdělen na tři kratší úseky o délkách 125 m, 140 m a 160 m. Cementopopílková suspenze byla do potrubí dopravována mobilním čerpadlem přes vstupní šachty. Provádění probíhalo rychlostí cca 80 m<sup>3</sup> za den.

[13, 30]



Obrázek 19 - Výplň mezikruží kanalizace pomocí CPS 3,5 [30]

Po uplynutí 4 let od dokončení prací nejsou známy žádné závady ani poruchy na provozu nové kanalizace. Použití cementopopílkové suspenze jako výplně prostoru mezi původní a novou kanalizací bylo vhodné.

### Zaplnění mezikruží chráničky pro VLT plynovod DN 1400

Místo:	Jirkov u Chomutova
Stavba:	Plynovod pod silnicí a vlakovou tratí
Plnicí materiál:	Cementopopílková suspenze CPS 7 (pevnost 7 MPa)
Plněno:	168 m <sup>3</sup>
Datum:	09/2012

Cementopopílková suspenze zaplnila prostor mezi chráničkou a vlastním VLT plynovodem. Suspenze byla pomocí čerpadla dopravována na vzdálenost až 160 m. Z důvodu náročného přístupu byla směs cementu, kameniva, popílku a vody dopravována čerpadlem do prostoru mezikruží z vnitřní strany potrubí, do kterého bylo následně vloženo nové vedení plynovodu.

[13, 30]



Obrázek 20 - Aplikace CPS 7 z vnitřní strany meziprostoru [30]

Po uplynutí 7 let od aplikace nejsou známy žádné poruchy. Lze tedy zvolený postup provádění a použití CPS 7 uznat za vhodné.

### Využití cementopopílkové suspenze v důlním stavitelství:

V odvětví důlního stavitelství je popílková či cementopopílková suspenze využívána pro stabilizaci prostor, ale také jako součást procesu rekultivace území.

- Uzavření narušených podzemních prostor použitím cementopopílkové suspenze
- Výplň rušených podzemních štol.
- Využití při procesu rekultivace území.
- Sanace uranových odkališť popílkovou suspenzí
  - Zde je využívána odkalištní voda, ta v kombinaci s popílkou vytváří přirozenou cestou suspenzí.

[30, 20]

## **2.6. Cementopopílková suspenze – ekologické hodnocení**

Pro výrobu cementopopílkové suspenze se využívá poměrně velké množství popílků, tedy vedlejšího energetického produktu. Tato skutečnost je přínosná z hlediska eliminace skládkování vedlejších energetických produktů.

Z opačného hlediska ovšem s používáním vedlejších energetických produktů je spojené riziko kontaminace životního prostředí těžkými a toxickými kovy. Ve srovnání s běžně využívanými stavebními materiály nebo zeminami a horninami je koncentrace nebezpečných látek vyšší. Ekologická vhodnost materiálu je posuzována.

### Hodnocení ekologické vhodnosti materiálu:

- Vlastnosti chemických výluh
- Dle REACH (Registration, Evaluation, Authorisation of Chemicals tj. Registrace, Hodnocení a Povolování Chemických látek)
- Dle mezní hodnoty hmotnostní aktivity  $Ra_{226}$

[32]

## 2.7. Metoda úplné likvidace IS – výkopová metoda

Úplná likvidace nevyužívaných sítí technické infrastruktury je oproti předchozí variantě vyplňování v mnoha aspektech náročnější, ale výsledkem je získání ničím nenarušeného souvrství podkladních vrstev. Pro samotnou likvidaci potrubí je nevyhnutelné provést výkopové práce, které mohou být i velmi rozsáhlé. Právě zemní práce vyžadují potřebnou stavební mechanizaci a především jsou časově i finančně náročné.

Pro samotné zásypy je vhodné použít vytěžený výkopek spolu s dalšími materiály. Pokud se jedná o zásypy, u kterých jsou požadavky na únosnosti, je nutné dodržení požadovaných hodnot hutnění. Dále je vhodné použít stavební demoliční odpad či využít druhotné suroviny, jako například stabilizát. [31]

### 2.7.1. Stabilizát

Stabilizát je zvlhčená stavební směs s vápenným pojivem. Vyrábí se úpravou vstupních surovin, kterými jsou vedlejší energetické produkty. Používá se popílek, fluidní popílek, struska případně energosádrovec.

V první fázi výroby dochází ke smísení suchých materiálů, tedy VEP a vápna v poměru dle požadovaných výsledných hodnot. Do suché směsi je následně přidávána záměsová voda, která způsobí exotermní reakci a dojde k nastartování hydratačních procesů. Z důvodu exotermní reakce je umožněno s materiálem pracovat od teplot vyšších než 0 °C. Doba zpracovatelnosti stabilizátu je závislá na obsahu vápna, ovšem obecně lze říct, že doba zpracovatelnosti se pohybuje v rozmezí 1 až 6 hodin od výroby.

#### Možnosti využití stabilizátu:

- Obsypy a zásypy objektů
- Tělesa zemních násypů pozemních komunikací
- Aktivní zóny
- Protipovodňové hráze
- Protihlukové valy
- Stabilizace zemin
- Sanace podzemních dutin

[16, 32]



## 2.7.2. Zásady používání stabilizátu

Použití stabilizátu při provádění pozemních komunikací je uvedeno v tabule č. 1, kde jsou zároveň uvedeny související předpisy.

Tabulka 1 - Užití popílkového stabilizátu v konstrukcích PK [32]

Konstrukční části pozemní komunikace	Předpis	Poznámka
Těleso násypu (mimo aktivní zónu)	ČSN 73 6133, TKP 4, TP 94	Popílkový stabilizát, popílek a popel
Aktivní zóna	ČSN 73 6133, TKP 4	pouze popílkový stabilizát
Konstrukce vozovky (podkladní a ochranné vrstvy)	ČSN EN 14227-3, -4, TKP 5	
Obsypy objektů, přechodové oblasti	ČSN 73 6133, TKP 4, TP 94	

Obrázek č. 21 znázorňuje použití VEP jako těsnící jádro ochranné hráze v Pardubicích. Koruna ochranné hráze je upravena pomocí asfaltového krytu a slouží jako cyklostezka. Na této stavbě bylo použito 52.500 tun materiálu VEP.

[33, 37]



Obrázek 21 - Ochranná hráz Pardubice [37]



### **2.7.3. Pevnost stabilizátu v prostém tlaku**

Pevnost v tlaku je u stabilizátů zkoušena dle ČSN EN 13286-41. Zkouška probíhá po 28 dnech, kdy zkušební těleso je uloženo v polyetylenovém sáčku za stálých laboratorních podmínek. Před zahájením zatěžování musí být těleso očištěno, vlastní zatěžování probíhá takovou rychlostí, aby porušení vzorku nastalo v rozmezí 30 až 60 sekund od začátku zatěžování.

Příprava zkušební tělesa probíhá v laboratoři tak, aby bylo docíleno podmínek dle ČSN EN 13286-53. Dokonale zhomogenizovaná směs popílku a pojiva je spolu s příslušným množstvím vody opětovně promíchána a ukládá se do připravených forem, kde je rovnoměrně hutněna. Po dokončení je vzorek z formy vyjmut a uložen do polyetylenového sáčku.

[17]

### **2.7.4. Objemové změny**

V případě stabilizátu z fluidního popílku je povinná zkouška objemových změn. Cílem zkoušky je stanovení součinitele lineární nebo objemové bobtnavosti. Zavlhčená směs se hutní ve válci CBR použitím Proctor standard. V případě stabilizátů z FPP vzorky zrají 48 hodin, 7, 28, 60 a 90 dní a následně jsou syceny vodou po dobu třech dní. Následně je měřeno bobtnání, a to vždy minimálně na třech vzorcích.

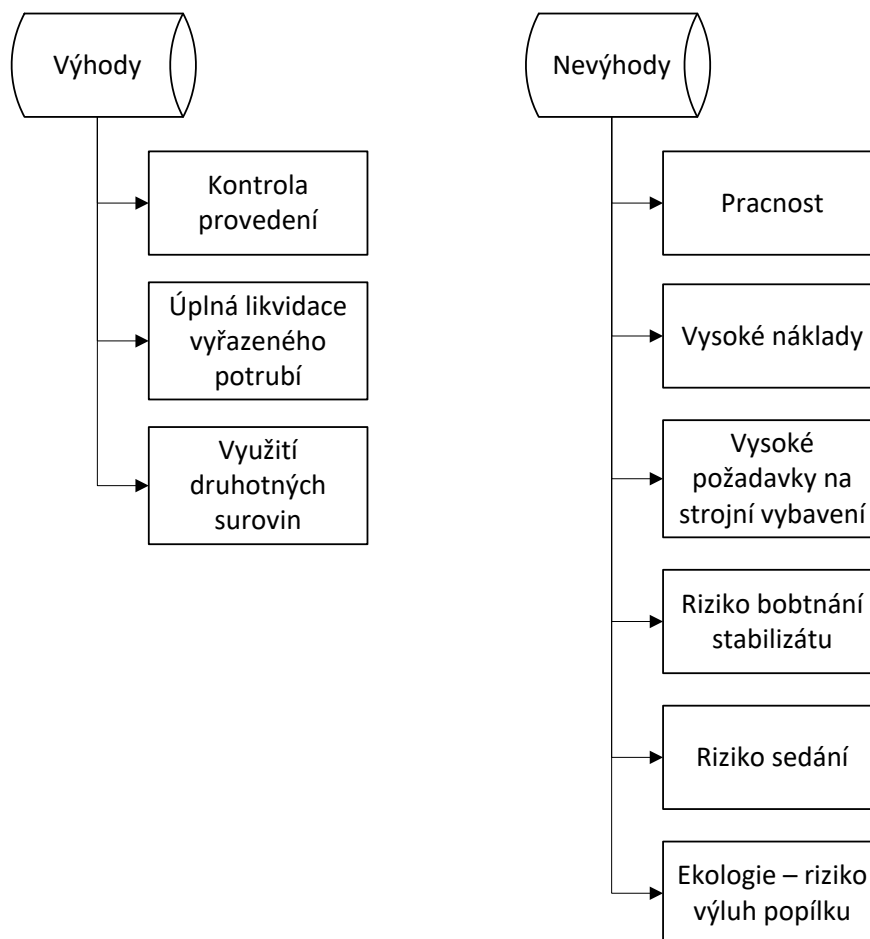
[32]

### **2.7.5. Zpracování stabilizátu**

Popílkový stabilizát nabývá požadovaných parametrů po zhutnění a vyzrání. Hutnění probíhá přímo v místě použití. Pro stanovení tloušťky jednotlivých hutněných vrstev je nutné brát v potaz typ hutnicího prostředku. Za vhodné hutnicí prostředky lze považovat hladké vibrační válce. Postup hutnění se provádí vždy na základě schváleného technologického postupu stavby. S ohledem na dobu zpracovatelnosti stabilizátu je nutné provést všechny technologické kroky před dosažením této doby, jedná se především o dopravu, rozhrnutí, urovnání a hutnění.

[19]

### 2.7.6. Výhody a nevýhody použití metody likvidace potrubí a zpětného zásypu s použitím stabilizátu



Obrázek 22 - Schéma výhod a nevýhod likvidace potrubí s využitím zásypu stabilizátem

## 2.7.7. Příklady použití popílkového stabilizátu na území ČR

### Protipovodňové hráze Pardubice

Místo:	Pardubice
Stavba:	Protipovodňová hráz
Materiál:	Popílkový stabilizát
Množství:	52.500 t
Datum:	2004

V letech 2004–2005 byla rozšířena protipovodňová ochrana města Pardubice, probíhala výstavba ochranné hráze podél řeky Labe. Hmota hráze byla tvořena stabilizátem produkovaným elektrárnou v Opatovicích. Protipovodňová hráz slouží také jako cyklostezka, z toho důvodu byla použita skladba vozovky s asfaltovým krytem.

[19]



Obrázek 23 - Provádění protipovodňové hráze [19]

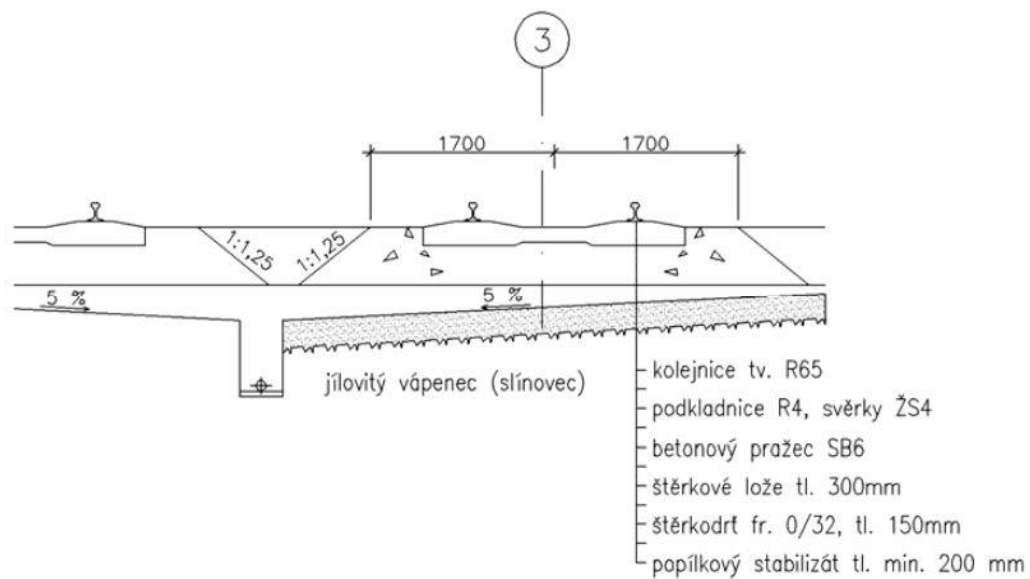
Nebyly dohledány žádné poruchy či závady spojené s provozem.

### Železniční stanice Smiřice – zkušební úsek

Místo:	Smiřice
Stavba:	Zkušební úsek železniční trati
Délka úseku:	330 m
Mocnost vrstvy:	200 mm
Materiál:	Popílkový stabilizát
Datum:	2007

Za účelem dlouhodobého sledování chování popílkového stabilizátu při použití v železničních stavbách byl na Katedře železničních staveb fakulty stavební ČVUT realizován experimentální výzkum včetně výstavby zkušebního úseku o délce 330 m.

[33, 37]



Obrázek 24 - Příčný řez zkušebního úseku [37]

Za období provozu nebyly shledány žádné problémy, zároveň stavba stále splňuje všechny požadavky od SŽDC.

### 3. Druhotné suroviny a jejich možné využití pro sanace IS

Druhotné suroviny jsou materiály, které vznikají jako vedlejší produkt lidské činnosti. Z důvodu snahy minimalizace případných odpadů a zároveň možností snížení nákladů oproti použití materiálů k tomu účelu vyrobenému je vyvíjena snaha maximalizace využití právě druhotných surovin.

[1]

Odpadní materiály vznikají téměř v každé lidské činnosti, lze je zařadit do následujících kategorií:

- Sklo
- Kovy
- Vedlejší energetické produkty
- Stavební a demoliční hmoty
- Ostatní

Cílem používání odpadních materiálů, tedy i druhotných produktů z výroby v průmyslu, zemědělství a stavitelství je eliminace skládkování a další výroby surovin, které jsme schopni úplně, nebo alespoň částečně nahradit právě odpadním materiálem.

Přesným zařazením a způsoby využití těchto materiálů se zabývá Politika druhotných surovin České republiky ministerstva průmyslu a obchodu. Dále Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech stanovuje pravidla pro předcházení vzniku odpadů a postupy pro ochranu zdraví veřejnosti a životního prostředí. Pro možnost využití odpadních materiálů jako druhotných surovin pro další výrobu je důležité dodržení postupů při likvidaci, manipulaci a třídění vzniklých surovin.

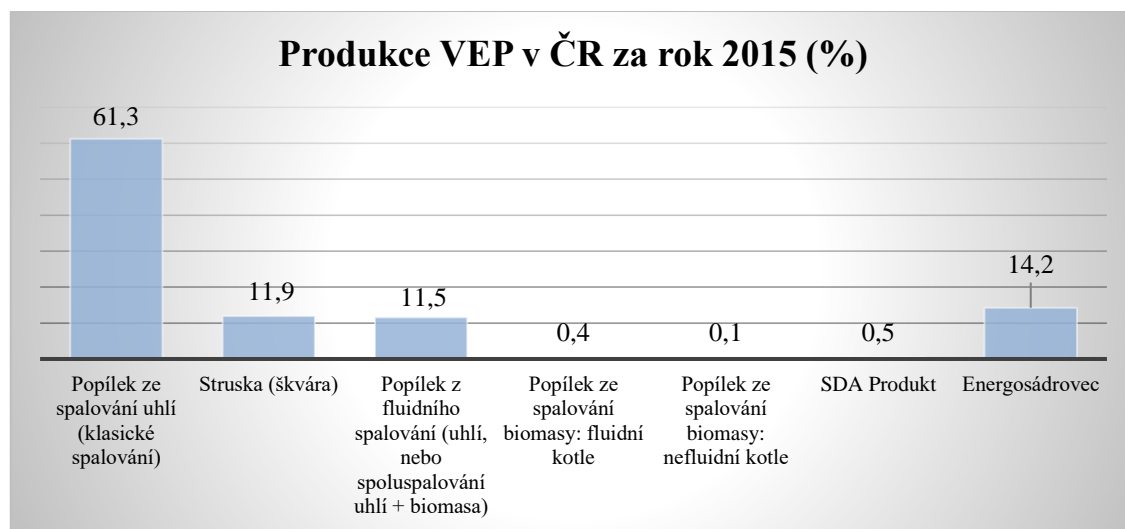
[1, 40]

Výhodou užívání druhotných surovin je možnost dojít k cenové úspoře na provedení díla. Zároveň jejich používáním klesá množství odpadních surovin a zároveň se snižuje potřeba výroby stavebních materiálů pro prvotní užití, to má pozitivní dopad na ekologii.

[1]

### 3.1. Vedlejší energetické produkty

Mezi vedlejší energetické produkty jinak také VEP se řadí popílek, struska a produkty vzniklé odsiřováním spalin, které vznikají při výrobě elektrické energie a tepla. Tyto produkty se ve stavitelství využívají za účelem částečného či úplného nahrazení přírodních neobnovitelných surovin.



Obrázek 25 Produkce VEP v ČR za rok 2015 [%] [2]

V roce 2015 byla celková produkce VEP 13.077.767 tun. Z celkového množství vyprodukovaného vedlejšího energetického produktu je využito 20 % objemu pro stavební účely, a to především ve stavbách dopravní infrastruktury a dále jako součást betonu, nebo cementu.

Využití VEP ve stavitelství (z celkové produkce):

- Beton, cement, pórobeton, cihlářské výrobky 12,8 %
- Komunikace 0,7 %
- SDK desky, sádra 3,1 %
- Sanace území 27,5 %
- Povrchové doly 52,0 %

[2]

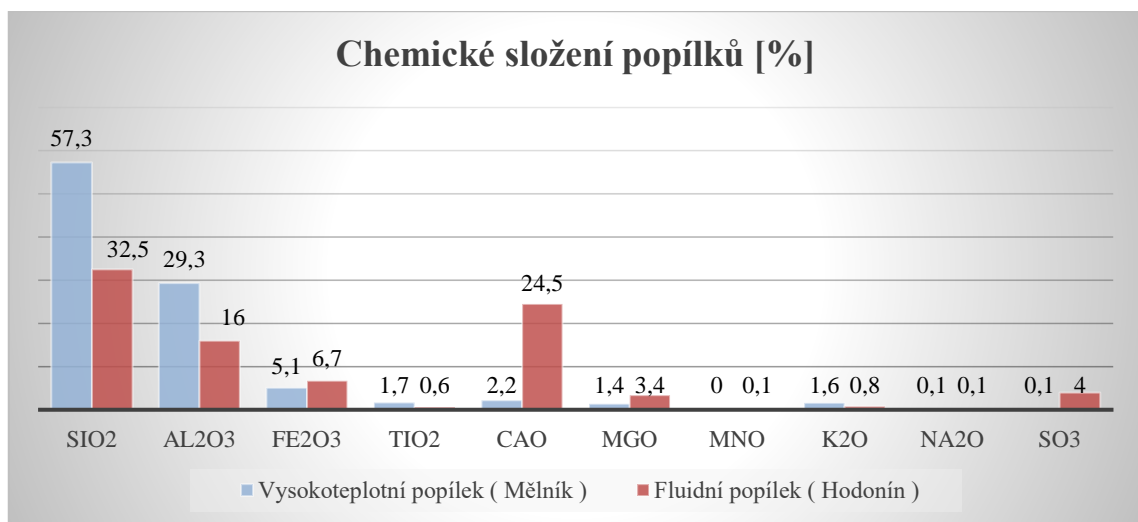
### 3.1.1. Popílek

Popílek vzniká spalováním hnědého uhlí, černého uhlí a práškového antracitu. Dle způsobu odloučení od spalin rozlišujeme hrubší popílek, ten je odlučován gravitačně, a jemný popílek, který je odlučován elektrostaticky. Hrubší popílek lze také označit jako ložový a jemný popílek jako tzv. úletový.

[3]

S ohledem na proces spalování lze rozlišit popílky na Fluidní popílek, kde teplota spalování ve fluidních kotlích dosahuje maximálně 750 - 850 °C a klasický vysokoteplotní popílek, u kterého spalování probíhá při teplotě o více než 500 °C větší, než v případě Fluidního popílku. Fluidní kotle dosahují účinnosti 91 % a tvoří 15 % produkce popílku na území ČR. Vysokoteplotní popílky se oproti Fluidním popílkům liší v chemickém složení.

[4]



Obrázek 26 - chemické složení popílků [4]

Použití popílku ve stavebních materiálech:

- Výroba cementu
- Výroba umělého kameniva
- Cihlářské výrobky
- Cementopopílkové suspenze

### 3.1.2. Energosádrovec

Energosádrovec neboli dihydrát síranu vápenatého ve zkratce též označovaný EGS je produkt vznikající během odsiřování spalin v uhelných elektrárnách. Ke skladování dochází na otevřených deponiích nebo v uzavřených halách.

Pro získání čistého Energosádrovce se nejčastěji používá metoda mokré vápencové vypírky. Po provedení tzv. vypírky získáme velmi čistý materiál s chemickou čistotou 97 – 98%. Získaný materiál je hojně využíván při výrobě stavebních materiálů, především díky chemické čistotě je možné jím zcela nahradit přírodní sádrovec a tím omezit množství těžby sádrovce.

[5]

Použití energosádrovce ve stavebních materiálech:

- Surovina do výroby cementu
- Výroba sádrových omítek
- Výroba pórobetonu
- Výroba sádrokartonových a sádrovláknitých desek

### 3.1.3. Struska

Další z vedlejších energetických produktů je struska, která vzniká při spalování uhlí v granulačních kotlích. V první fázi dochází k ochlazení ve vodní lázni a následnému odvodnění. Struska je hojně využívána do zásypů zemních těles v silničním stavitelství, dále je vhodná díky své smykové pevnosti pro zásypy opěrných konstrukcí.

Struska se vyznačuje svou nízkou objemovou hmotností cca. 1000 kg/m<sup>3</sup>. Dále je jednou z přísad při výrobě cihlářských výrobků za účelem zvýšení pevnosti v tahu a odolnost proti nárazu a povětrnostním vlivům. Mimo stavební odvětví byla struska v minulosti využívána při údržbě komunikací v zimním období.

[6]



## **3.2. Stavební a demoliční odpady**

Stavební a demoliční odpady (SDO) je označení pro celou škálu materiálů, které lze získat demolicí již nevyužívaných konstrukcí. V první řadě je důležitá separace jednotlivých materiálových složek, oddělení skla, plastů, kovu, dřeva a dalších materiálů. V poslední fázi se třídí demoliční suť, beton, keramika a asfalt.

### **3.2.1. Recyklace stavebního odpadu**

Demoliční odpady se zpracovávají na recyklačních linkách. Rozeznáváme mobilní a stacionární recyklační linky.

Mobilní recyklační linky se používají přímo v místě skládky demoliční suti, popřípadě přímo v místě demolice stavby. Stacionární recyklační linky jsou technologicky složitější, skládají se z drtiče, třidiče a separátorů. Moderní recyklační linky dosahují vysoké efektivnosti především díky vysoké rychlosti, precizní separaci a přesnému drcení suti. Pomocí magnetického separátoru železa dochází například k oddělení betonářské výztuže od zbytku drceného betonu z původní železobetonové suti. Na konci recyklační linky je osazen vibrační třidič, na kterém dojde k oddělení dle potřeby na požadované frakce.

### **3.2.2. Recyklované kamenivo**

Dle normy ČSN EN 206 se jedná o kamenivo získané úpravou materiálu, který byl již použit v nějaké konstrukci. Recyklované kamenivo získané z demolice pozemních či dopravních staveb lze efektivně použít jako náhradu přírodního kameniva a díky tomu snížit finanční náklady a omezit skládkování a zmírnit dopad na životní prostředí. Betonový recyklát je využíván mimo jiné jako náhrada štěrkopísku v obsypech inženýrských sítí. Upravený betonový recyklát lze použít i jako kamenivo do nových betonů. V tomto případě je zásadní kvalita vstupní suroviny, tedy konstrukce určené k recyklaci, od toho se přímo odvíjí kvalita betonového recyklátu, a tedy i kvalita nového betonu. Drobná a jemná frakce betonového recyklátu negativně ovlivňuje zpracovatelnost čerstvého betonu.

[7]

### 3.2.3. Cihelný recyklát

Výroba recyklátu z keramických výrobků je podobná jako u předchozího recyklovaného kameniva. Proces výroby se skládá z přetřídění, drcení a třídění. V prvním kroku dochází k vytrídění jiných než keramických materiálů jako například dřevo, ocel atd.. Výsledkem drcení a třídění jsou tři frakce cihelného recyklátu (0 – 8 mm, 8 – 32 mm, 32 – 85 mm). Kvalita výsledného produktu recyklace je přímo úměrná kvalitě vstupní suroviny.

Cihelný recyklát je ve stavitelství hojně využíván především i díky poměrně nízké ceně. Využívá se k výrobě cihlobetonu, který se vyznačuje dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. Dále je používán jako plnivo malt pro zdění. Naopak z důvodu velké nasákavosti (přes 10%) není vhodné používat cihelný recyklát do konstrukčních vrstev vozovek.

[8]

### 3.2.4. Asfaltový recyklát

Jinak označovaný těž jako R – materiál je získáván dvěma způsoby. V místě demolice za použití mobilních drtičů či tzv. frézováním za studena. Získaný asfaltový recyklát je vhodný například na opravy či výstavby cyklostezek, polních cest a méně zatížených komunikací.

Snaha omezit těžbu přírodního kameniva a snížit spotřebu asfaltového pojiva vede ke snaze využívání asfaltového recyklátu do nových asfaltových směsí. Hojnému využívání asfaltového recyklátu v nových směsích brání vysoké požadavky na technické vybavení obaloven. ČSN EN 13108-1 uvádí maximální možný podíl R-materiálu v asfaltových betonech v závislosti na souvrství PK.

- Podkladní vrstvy: max. 60%
- Ložní vrstvy: max. 40%
- Obrusné vrstvy: max. 25%

[9]

### 3.3. Použitelnost druhotných surovin pro likvidaci IS

V následující tabulce je zpracován přehled výše uvedených druhotných surovin a jejich možné využití pro konzervaci inženýrských sítí formou výplně potrubí či jako materiál pro zásyp výkopů spojených s úplnou likvidací potrubí.

Tabulka 2 - Použitelnost druhotných surovin

Druhotná surovina	Uvažované varianty likvidace IS	
	Výplň potrubí	Úplná likviace - zpětný zásyp
Popílek	✓	?
Struska	✗	✗
Energosádrovec	?	?
Recyklované kamenivo	✓	✓
Cihelný recyklát	✗	?
Asfaltový recyklát	✗	?

Legenda:



Vhodné použití



Nevhodné použití



Lze použít (s omezením)

[2,4,7,8,9,14]

## **4. Praktická část diplomové práce**

V následujících kapitolách praktické části diplomové práce byl zhodnocen postup provádění zaplnění potrubí rušené dešťové kanalizace na stavbě rekonstrukce odpočívky Humpolec. Během provádění prací jsem odebral několik zkušebních těles, na kterých byla následně ověřena pevnost v tlaku použitého materiálu. Dle dodaných výrobních listů cementopopílkové suspenze jsem vytvořil pro porovnání v laboratorních podmínkách tutéž směs a dále jako experiment jsem navrhl cementopopílkovou suspenzi se sníženým obsahem cementu a ověřil možnost použití lehčeného kameniva. Na vytvořených tělesech byla provedena zkouška pevnosti v tlaku s následným vyhodnocením výsledků. Zkoušky pevnosti byly prováděny v souladu s ČSN EN 12390-3.

Pro ověření metody zaplňování potrubí cementopopílkovou suspenzí jsem použil požadavky dle Technických podmínek 93, zde jsou uvedeny požadavky na pevnost v tlaku po 28 dnech zrání pro použití popílkového stabilizátu a popílků. Dále dle Technických podmínek 146, kde je uveden požadavek na pevnost v tlaku pro směsi určené k zásypům. Tyto požadavky jsou ověřeny jak na skutečně použitém materiálu, tak i na mnou navržené suspenzi. Další požadavek na proces výplně potrubí suspenzí je na úplné vyplnění prostor, pro splnění tohoto požadavku jsou dále navrženy opatření a kontrolní mechanismy.

Pro širší rozsah této práce se částečně zabývám možným použitím popílkového stabilizátu do zásypu výkopů spojených s likvidací inženýrských sítí. V závěru práce je provedeno zhodnocení výše uvedených variant. Pro vyhodnocení časové náročnosti možných variant provedení likvidace dešťové kanalizace je zpracován zjednodušený harmonogram prací. Dále bude posouzena technologická a finanční náročnost provádění, pro toto hodnocení je proveden přehled nutné mechanizace a potřeb na staveništi včetně zpracovaných zjednodušených rozpočtů uvažovaných variant.

## 5. Likvidace rušeného potrubí – rekonstrukce odpočívky Humpolec

V reakci na dlouhodobý nedostatek parkovacích míst pro řidiče nákladních aut zahájilo v poslední době Ředitelství silnic a dálnic České republiky přípravu a následně realizaci výstavby nových odpočívek. Právě za účelem zkapacitnění, modernizace a zvýšení komfortu došlo v roce 2019 k zahájení rekonstrukce odpočívky Humpolec na dálnici D1 km 88,3 vlevo.



Obrázek 27 - Poloha stavby odpočívky Humpolec [18]

Přípravy rekonstrukce odpočívky Humpolec byly zahájeny v roce 2014. Z důvodu složité možnosti výkupu sousedních pozemků, které jsou ve vlastnictví soukromých subjektů, byla zvolena varianta provedení, kdy dojde k maximálnímu možnému využití pozemku, na kterém již v současné době je v provozu od roku 1998 odpočívka Humpolec.

Předpoklad doby pro uvedení stavby do provozu je 112 dnů, kdy po celou dobu rekonstrukce bude odpočívka mimo provoz. Práce na rekonstrukci byly zahájeny ke dni 7.8.2019, opětovné zprovoznění následovalo 8.11.2019. Zprovoznění stavby bylo oproti předpokladu mírně opožděno.



Parametry odpočívky Humpolec před rekonstrukcí:

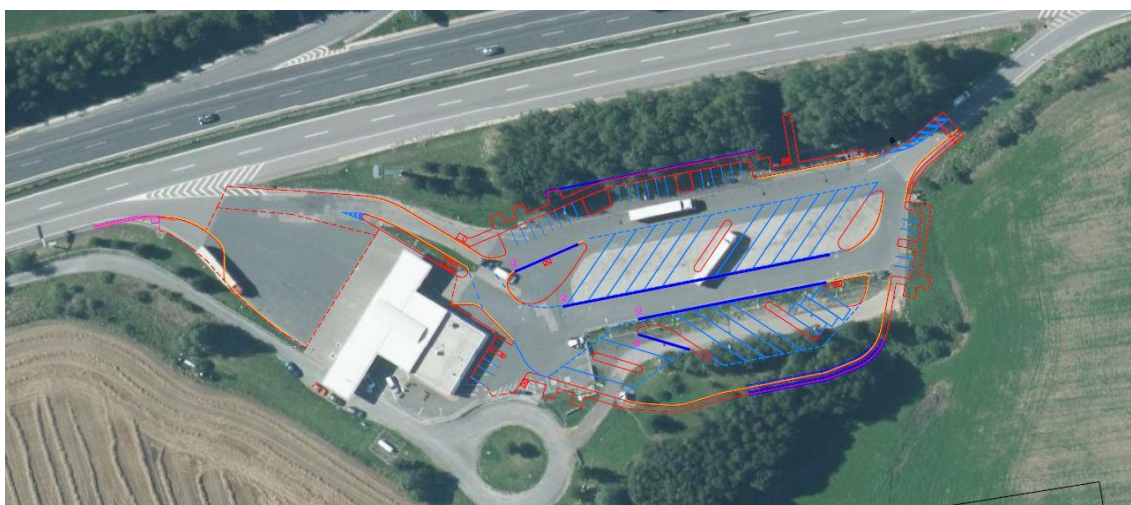
- Počet stání pro osobní automobily: 20
- Počet stání pro nákladní automobily: 13

Parametry odpočívky Humpolec po rekonstrukci:

- Počet stání pro osobní automobily: 31
- Počet stání pro nákladní automobily: 19
- Počet stání pro autobusy: 4
- Počet stání pro obytné přívěsy: 3



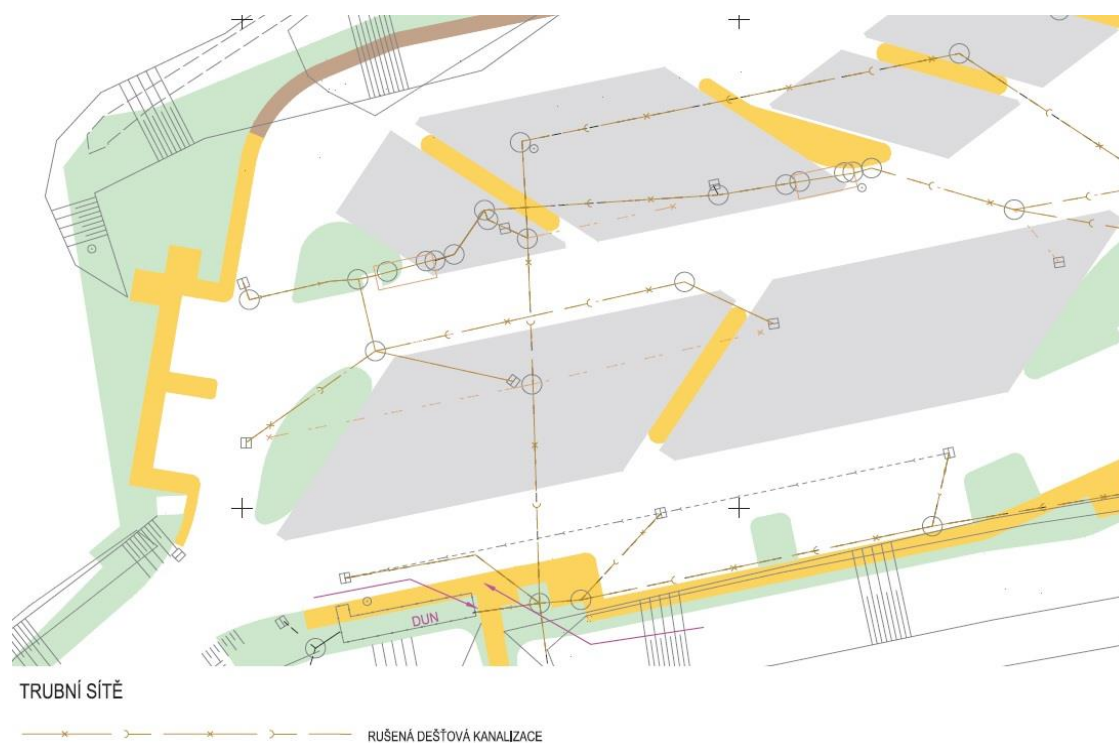
Obrázek 28 - Odpočívka Humpolec vlevo - stav před rekonstrukcí [18]



Obrázek 29 - Odpočívka Humpolec vlevo – rozsah rekonstrukce [35]

## 5.1. Rozsah likvidace potrubí

Součástí rekonstrukce odpočívky Humpolec D1 km 88,3 vlevo je mimo jiné i likvidace původní dešťové kanalizace pod plochami určenými ke stání a poježdění dopravy na odpočívce.



Obrázek 30 - Rozsah likvidace dešťové kanalizace [35]

Likvidace dešťové kanalizace obnášela demolici původní dešťové usazovací nádrže, likvidaci lapolů ropných látek a rušení samotné dešťové kanalizace v ploše odpočívky Humpolec před rekonstrukcí. Dešťová kanalizace určená k likvidaci byla vybudována v letech 1998–2001.

### Specifikace rušeného potrubí:

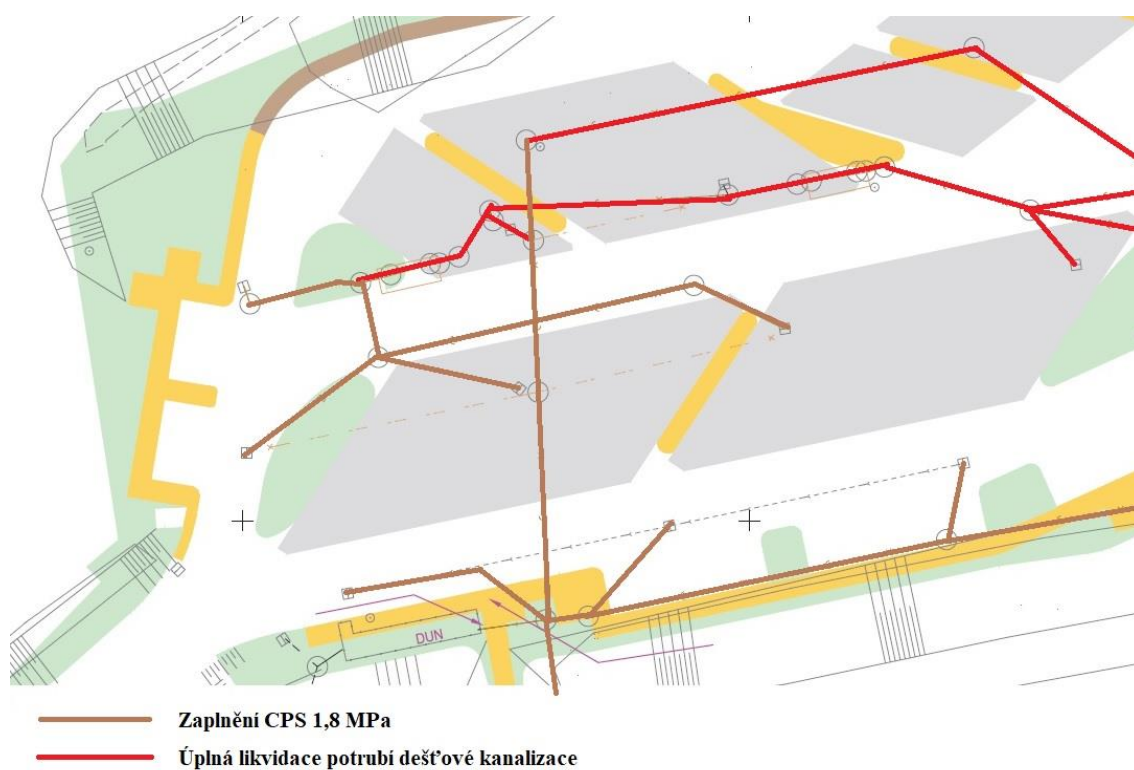
- Potrubí dešťové kanalizace z betonových trub DN 300 - 211 m
- Potrubí dešťové kanalizace z PVC trub DN 250 - 141 m
- Potrubí dešťové kanalizace z PVC trub DN 200 - 125 m



V zadávací dokumentaci stavby byl projektantem zvolen postup likvidace rušené dešťové kanalizace pomocí výplně celého potrubí cementopopílkovou suspenzí. V soupisu prací byla tato položka zařazena do podkladních a výplňových vrstev ze stabilizovaného popílku o celkovém objemu 25,76 m<sup>3</sup>. Bližší specifikace provádění zaplnění potrubí nebyla uvedena, pouze situační výkres dešťové kanalizace obsahoval trasy rušené kanalizace.

## 6. Metoda použitá při likvidaci IS – odpočívka Humpolec

Při provádění stavby byl zvolen postup, kdy část rušeného potrubí byla během provádění zemních prací zcela zlikvidována, a zbylé potrubí bylo zaplněno cementopopílkovou suspenzí s deklarovanou pevností v tlaku po 28 dnech 1,8 MPa. Na obrázku č. 31 jsou vyznačena potrubí, která byla zvolena k úplné likvidaci, tato metoda byla zvolena v místech, kde docházelo k výkopům z důvodu nově zřizovaných inženýrských sítí. V tomto případě byl k zpětným zásypům použit výkopek získaný při provádění zemních prací.



Obrázek 31 – Použitý postup likvidace potrubí [35]

## 6.1. Poloha rušeného potrubí

Z obrázku č. 31 je patrné, že potrubí dešťové kanalizace určené k zaplnění cementopopílkovou suspenzí je pod různými skladbami vozovek. Zaplněné potrubí bude po dokončení rekonstrukce odpočívky jak pod pojezdnými plochami s asfaltovým krytem, tak i zároveň pod místy pro stání těžké nákladní dopravy s cementobetonovým krytem.

Výškové uspořádání je různé s ohledem na spádování rušené kanalizace a zároveň proměnné sklony povrchu vozovek. Vzdálenost mezi lícem horní hrany rušeného potrubí ke svrchní hraně vozovky je v rozmezí 0,9 – 2,5 m.

## 6.2. Zaplnění potrubí pomocí CPS

Pro zaplnění potrubí byla na stavbě použita cementopopílková suspenze CPS 1,8 dodaná betonárnou Českomoravský beton, a.s. vzdálené 2,5 km od místa stavby. Suspenze byla na místo použití dopravována autodomíchávači.

Během provádění přípravných prací nebyla provedena diagnostika průchodnosti potrubí, pouze byly připraveny vstupní místa pro lití suspenze. Pro aplikaci suspenze bylo připraveno celkem 13 vstupních otvorů tak, že maximální vzdálenost mezi místy pro plnění byla cca 40 m. Pro vstupy byly použity převážně původní kanalizační šachty, nebo byla použita místa, kde z důvodu předcházejících zemních prací byla kanalizace porušena. V těchto místech bylo nutné provést částečnou úpravu vstupního otvoru pomocí dočasně umístěné kanalizační roury. V době, kdy byly odkryty poklopy kanalizačních šachet, bylo zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti při pohybu v blízkosti nezabezpečených otvorů.

Dle projektové dokumentace, ani na základě Smlouvy o Dílo, nebyl Zhotovitel stavby povinen provádět kontrolní zkoušky materiálu během realizace výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí. Z tohoto důvodu jsem provedl odběr zkušebních těles já a dále v této práci jsem vyhodnotil dosažené výsledky zkoušek pevnosti v tlaku na materiálu aplikovaném na stavbě rekonstrukce odpočívky Humpolec.

Realizace výplně probíhala 6.9.2019 při okolní teplotě 12 °C za oblačného počasí s občasnými přeháňkami. Práce byly uskutečněny bez jakékoliv další mechanizace, suspenze byla z domíchávače dopravována do připravených vstupních míst samotížně pouze za pomoci skluzu. Použitá cementopopílková suspenze byla velmi

---

tekuté konzistence. Z důvodu omezení rozsahu zaplňovaného potrubí viz obrázek č. 31 bylo oproti předpokladu použito pouze 16 m<sup>3</sup> suspenze. Materiál byl dopravován pouze jedním přepravním prostředkem, tím došlo k dlouhým prostojům při realizaci. Celkem bylo zapotřebí, aby přepravní prostředek přijel na místo stavby čtyřikrát. Provedení prací trvalo celkem 4,5 hodiny včetně zmíněných prostojů z důvodu špatné koordinace dopravy materiálu na stavenišť.



*Obrázek 32 - Zvolený postup výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí*

Po úplném vyplnění potrubí cementopopílkovou suspenzí bylo stavenišťe začištěno od zbytků materiálů. Po částečném vytvrdnutí suspenze byly odstraněny dočasně umístěné kanalizační roury, kterými byla suspenze dopravována do rušené dešťové kanalizace, v tomto případě to bylo po cca 72 hodinách.

Po dokončení prací nebyla provedena žádná kontrola, zda došlo k úplnému vyplnění potrubí.

### 6.3. Receptura cementopopílkové suspenze (dodávka na stavbu)

Pro zaplnění rušené dešťové kanalizace byla na stavbě použita cementopopílková suspenze s označením CPS 1,8.

Označení: CPS 1,8

Výrobce: Českomoravský beton, a.s.

Výrobná: Humpolec

Tabulka 3 - Receptura CPS 1,8 [34]

Složky:	Dávkování: [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II / B-S 32,5 R Mokrý	210
Popílek Mělník	745
Voda	420
Kamenivo DTK 0/4 Planá nad Lužnicí	294

Deklarované hodnoty stanovené ověřovací zkouškou:

Pevnost v tlaku po 28 dnech: 1,8 MPa

Objemová hmotnost: 1630 kg/m<sup>3</sup>

### 6.4. Odběr zkušebních těles

Zkušební tělesa jsem vyráběl dle ČSN EN 12390-2, použil jsem plastové formy pro výrobu zkušební krychle o rozměrech 150x150x150 mm. S ohledem na odběr zkušebních těles přímo v místě stavby došlo k mírným odchylkám oproti postupu zkoušky a ošetřování zkušebních těles, jak je uvedeno v ČSN EN 12390-2.



Obrázek 33 - Odběr zkušebních těles v místě stavby

#### Postup výroby zkušebních těles:

- Příprava forem, umístění na rovnou podložku. Během přípravy byly formy číselně označeny, číselné označení formy odpovídá označení zkušebního tělesa. Celkem byly použity 4 formy označeny 23C, 7E, 7B, 5A.
- Ošetření forem separačním prostředkem. Pro ošetření byl použit silikonový sprej. Tímto krokem se zamezí případnému přilnutí suspenze ke stěnám formy.
- S ohledem na konzistenci používané suspenze, která byla velmi tekutá, byly formy plněny jednou vrstvou.
- Pro hutnění těles byla použita propichovací tyč.
- Po dokončení hutnění byla odstraněna přebytečná suspenze z hran zkušebních forem.
- Po dokončení byl proveden záznam o odběru vzorku. [Příloha č. 1]

#### Ošetřování zkušebních těles:

- V období: 6.9.2019 – 9.9.2019
  - Zrání těles v místě stavby, formy byly zakryté igelitovou folií z důvodu zamezení nadměrného vysušování vzorků a případným účinkům povětrnostních vlivů.
  - Počasí proměnlivé s občasnými přeháňkami a teplotami v rozmezí 10 – 18 °C.
- V období: 9.9.2019 – 13.9.2019
  - Zrání forem v laboratorních podmínkách.
  - Formy zakryté igelitovou folií.
- V termínu: 13.9.2019
  - Vyjmutí zkušebních těles z plastových forem pomocí pece, ve které proběhne zahřátí forem na cca 80 °C.
  - Označení zkušebních těles.
  - Následně umístění zkušebních těles do vodní lázně o teplotě  $20 \pm 5$  °C.



Tabulka 4 - Přehled odebraných těles při provádění stavby

Popis tělesa:	Datum odběru:	Zkouška:	Termín zkoušky:
23C	6.9.2019	Pevnost v tlaku po 28 dnech	4.10.2019
7E	6.9.2019	Pevnost v tlaku po 50 dnech	26.10.2019
7B	6.9.2019	Pevnost v tlaku po 60 dnech	5.11.2019
5A	6.9.2019	Pevnost v tlaku po 90 dnech	6.12.2019

## 6.5. Zkouška pevnosti v tlaku

Pro ověření použité cementopopílkové suspenze jsem na odebraných těleších zkoušel pevnost v tlaku. Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 12390-1 Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy a dále ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu. Ověření pevnosti bylo provedeno v akreditované laboratoři za dohledu odborného personálu.

### Použité přístroje a zařízení:

- Hydraulický zkušební lis CONTROLS
- Váha Sartorius CP 16001 S-OCE
- Posuvné měřítko
- Úhelník
- Měrky



Obrázek 34 - Použitý zkušební lis CONTROLS 50-C78Z00

Postup zkoušky pevnosti v tlaku:

- Kontrola rozměrů zkušebních těles
  - Za použití digitálního posuvného měřítka jsem provedl měření hran zkušebních těles. Norma ČSN EN 12390-1 udává maximální hodnoty tolerance rozměrů oproti jmenovitým rozměrům zkušebních těles.
    - Tolerance rozměrů ploch, které byly ve formě: 1%, tedy  $\pm 1,5\text{mm}$
    - Tolerance rozměrů horní a dolní plochy 1,5%, tedy  $\pm 2,25\text{mm}$
  - Hodnoty získané měřením jsem zanesl do protokolu [Příloha č. 2], kde rozměr X odpovídá rozměru horní a dolní plochy tělesa.
  - Požadavek rozměru byl splněn, ačkoliv v několika případech byla změřena hraniční hodnota, jednalo se právě o rozměr spodní a horní plněné plochy.



Obrázek 35 - Kontrola rozměrů zkušebního tělesa 23C

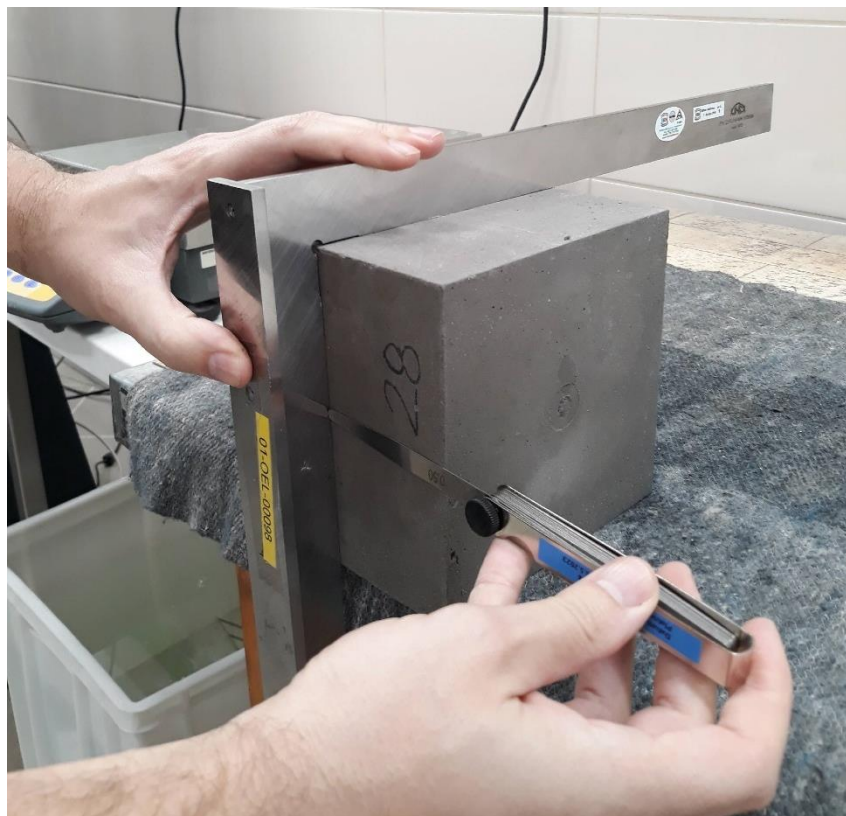
- **Kontrola rovinnosti**
  - Rovinnost je dle ČSN EN 12390-1 kontrolována na plochách, které jsou při provádění zkoušky pevnosti v tlaku zatěžovány lisem.
  - Norma uvádí toleranci 0,09 mm. Kontrola rovinnosti je prováděna pomocí úhelníku a měrky.
  - Požadavek na rovinnost zatěžovaných ploch byl splněn na všech zkoušených tělesech.



Obrázek 36 - Kontrola rovinnosti zkušebního tělesa 23C

- **Kontrola kolmosti**
  - Norma ČSN EN 12390-1 uvádí toleranci kolmosti bočních stěn krychle k horní plněné hraně 0,5 mm.
  - Kontrola kolmosti zkoušených těles byla prováděna pomocí úhelníku a měrky tl. 0,5 mm.
  - Požadavek normy na kolmost hran byl ve všech případech splněn. Výsledek byl zanesen do protokolu. [Příloha č. 2]





Obrázek 37 - Kontrola kolmosti zkušebního tělesa 23C

- Stanovení objemové hmotnosti
  - Objemovou hmotnost zkušebních těles jsem vypočetl dle následujícího vztahu:

*Rovnice 1 - Výpočet objemové hmotnosti zkušebních těles*

$$D = \frac{m_a}{\frac{m_a - m_w}{\rho_w}}$$

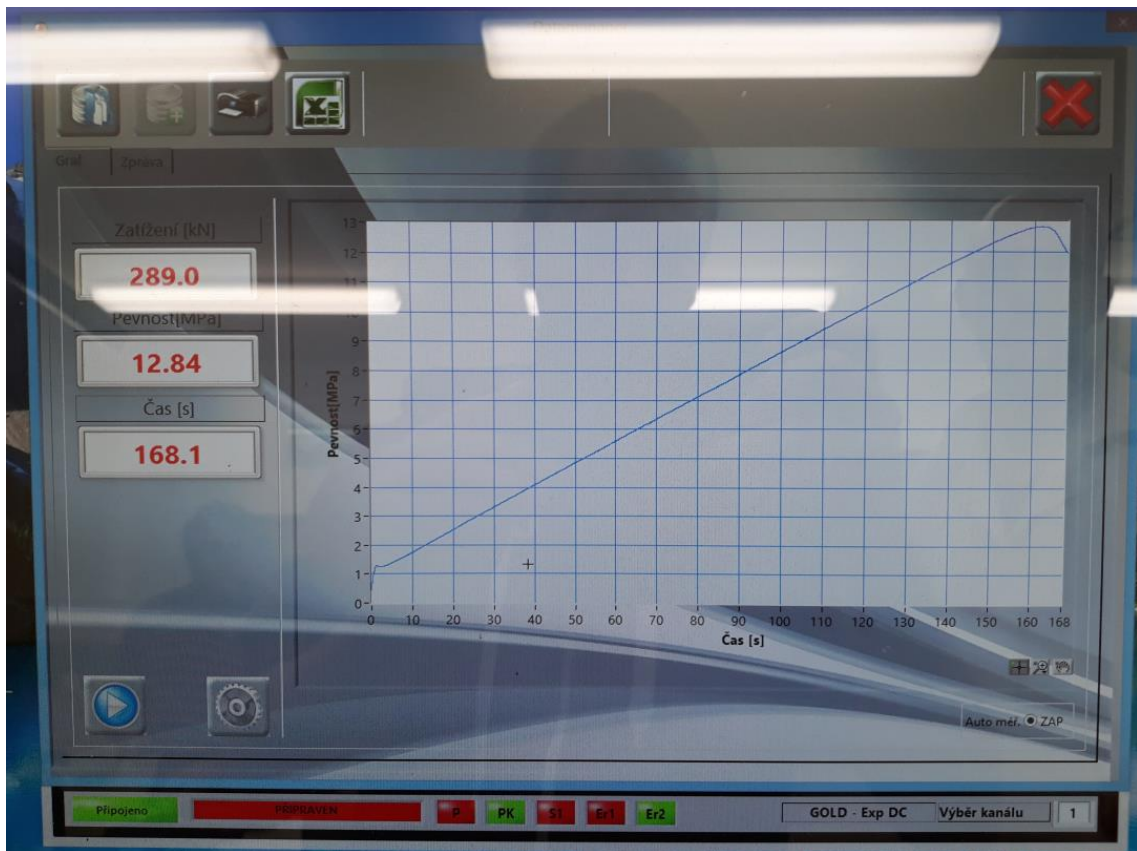
Kde: D objemová hmotnost ztvrdlé suspenze [kg/m<sup>3</sup>]  
m<sub>a</sub> hmotnost zkušebního tělesa na vzduchu [kg]  
m<sub>w</sub> hmotnost zkušebního tělesa ponořeného ve vodě [kg]  
ρ<sub>w</sub> hustota vody při 20 °C

- Potřebné hmotnosti těles pro výpočet jsem získal vážením na laboratorní váze. Pro hustotu vody jsem použil hodnotu 998 kg/m<sup>3</sup>.
- Získané údaje jsem zanesl do protokolu. [Příloha č. 3]

- Stanovení pevnosti v tlaku – zatěžování lisem
  - Po dokončení předchozích úkonů bylo zkušební těleso zatěžováno v hydraulickém lisu. Před vložením do lisu bylo vždy těleso osušeno a očištěno od uvolněného materiálu z povrchu tělesa.
  - Zkušební těleso jsem umístil pomocí distančníku na střed tlačné desky vždy tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání suspenze do formy.
  - Rychlost zatěžování lisu jsem nastavil na hodnotu 0,08 MPa/s, tato hodnota je v rozporu s normou ČSN EN 12390-3, kde je rychlost zatěžování uvedena v rozmezí  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s. Nízkou rychlost zatěžování jsem zvolil z důvodu očekávaných nízkých pevností cementopílkové suspenze oproti hodnotám, kterých dosahují betony.
  - Zatěžování bylo sledováno na softwaru zkušebního lisu. V okamžiku porušení tělesa byla zkouška ukončena. Software zobrazil křivku pevnosti v závislosti na době trvání zkoušky, dále maximální zatížení a dosaženou pevnost zkoušeného tělesa.



Obrázek 38 - Způsob porušení zkušebního tělesa 23C



Obrázek 39 - Grafický výstup software zatěžovacího lisu

- Posouzení porušení zkoušeného tělesa
  - Způsob porušení zkoušených těles jsem porovnával s ukázkami porušení uváděných v normě ČSN EN 12390-3.
- Vyloučení segregace kameniva
  - Vzhledem ke konzistenci odebírané suspenze jsem sledával možné riziko vzniku segregace kameniva. Pro vyloučení vzniku segregace kameniva jsem vždy po dokončení zkoušky pevnosti v tlaku přelomil zkoušené těleso, a pozoroval rozptýlení zrn kameniva v ploše porušení.
  - Výsledek hodnocení segregace kameniva je uveden v tabulce celkového hodnocení. [Příloha č. 4]

## 6.7. Zhodnocení zvoleného postupu provádění

Zhotovitel stavby provedl likvidaci potrubí kombinací metod, kdy cca 60 % potrubí bylo zaplněno cementopopílkovou suspenzí a zbylou část potrubí zcela zlikvidoval během provádění zemních prací. Tento postup byl zvolen především z důvodu technologické a časové náročnosti, kdy zaplnění potrubí suspenzí trvalo 4,5 hodiny, oproti variantě kompletní likvidace nevyužívané kanalizace, která by svou náročností provádění vyžadovala mnohem delší dobu pro dokončení prací.

### Použitý materiál

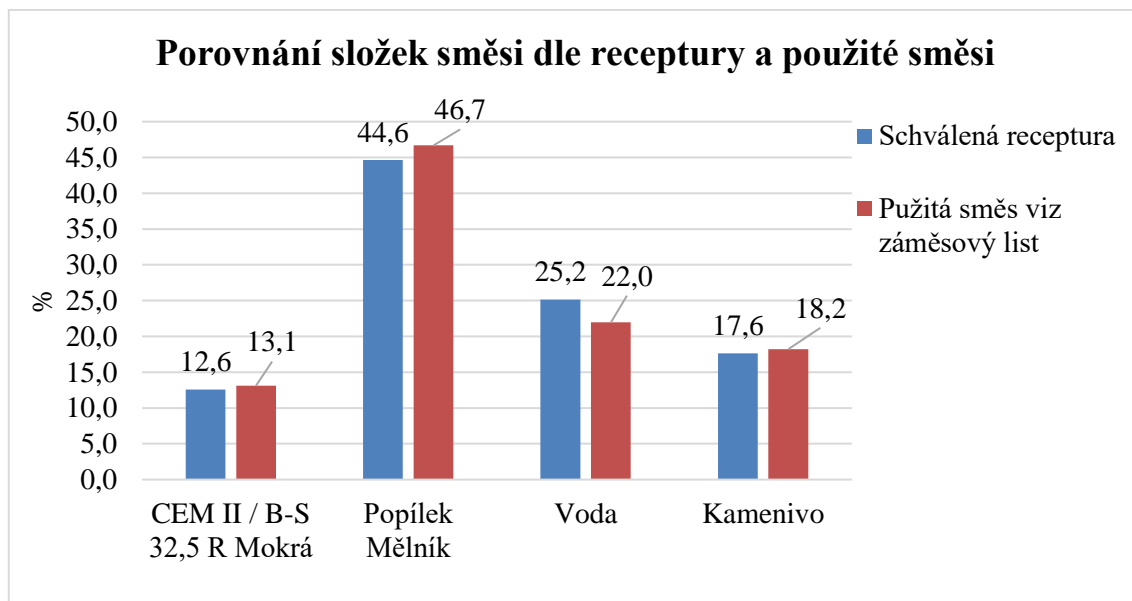
Před prováděním výplně potrubí Zhotovitel stavby předložil podklady pro schválení použité cementopopílkové suspenze.

#### Receptura dle kontrolních zkoušek:

Výrobce:	Českomoravský beton, a.s.
Označení receptury:	PS1
Složky receptury:	CEM II / B-S 32,5 R Mokrá (210 kg/m <sup>3</sup> ) 12,60 %
	Popílek Mělník (745 kg/m <sup>3</sup> ) 44,63 %
	Voda (420 kg/m <sup>3</sup> ) 25,20 %
	Kamenivo fr 0/4 (294 kg/m <sup>3</sup> ) 17,57 %

Dle ověřovacích zkoušek dosahuje cementopopílková suspenze dle výše uvedené receptury hodnoty pevnosti v tlaku po 28 dnech pouze 1,8 MPa. Na základě provedené zkoušky pevnosti v tlaku po 28 dnech na odebraném tělese při provádění výplně potrubí na stavbě odpočívky Humpolec jsem naměřil hodnotu pevnosti v tlaku 12,84 MPa, což je oproti předloženým podkladům mnohonásobně vyšší hodnota.

Po vyžádání záměsového listu [Příloha č. 7] z výroby cementopopílkové suspenze, která byla dopravena pro výplň potrubí na odpočívce Humpolec, jsem zjistil pouze nepatrné odchylky množství jednotlivých surovin oproti schválené receptuře. Tyto odchylky ovšem neshledávám jako příčinu dosažení tak odlišných hodnot pevností v tlaku. Procentuální porovnání zastoupených složek dle schválené receptury a dodaného záměsového listu je na grafu viz. obrázek č. 40.



Obrázek 40 - Porovnání složek směsí

Možné příčiny odlišných výsledků pevností v tlaku:

- Možné použití cementu vyšších tříd pevnosti
- Zpochybnění důvěryhodnosti záměsového listu
- Použití odlišného druhu kameniva, než bylo uvedeno v receptuře

## Postup provádění výplně potrubí

Postup provádění výplně potrubí cementopopílkové suspenze byl přizpůsoben podmínkám dotčené stavby, kdy pro aplikaci suspenze byly použity původní kanalizační šachty nebo dočasně zřízené vstupy, které byly v místech, kde bylo původní vedení přerušeno.

Jistým nedostatkem způsobu provádění je absence diagnostiky potrubí před samotnou aplikací suspenze, z tohoto důvodu není zcela jasné, zda plněné části potrubí byly dokonale průchozí pro tekoucí suspenzi.

### **6.7.1. Vyhodnocení dosažených výsledků (CPS použita na stavbě)**

V následující tabulce č. 4 je zpracován přehled požadavků na vyplň potrubí cementopopílkovou suspenzí. Lze konstatovat, že díky vysokým hodnotám pevnosti v tlaku, které jsem při laboratorních zkouškách naměřil, je použitá suspenze vhodným materiálem. Ale vzhledem k způsobu provádění a nedostatečnému průzkumu před zahájením prací nelze zaručit úplné vyplnění potrubí.

*Tabulka 5 - Požadavky na metodu výplně potrubí*

<b>Požadavek:</b>	<b>Skutečnost</b>	<b>Požadavek</b>	<b>Předpis</b>	<b>Hodnocení</b>
Pevnost v tlaku po 28 dnech	12,84 MPa	1,0 MPa	TP 146 - Požadavek na směsi určené pro zásypy (ČSN EN 14 227-1)	Požadavek splněn.
		2,0 MPa	TP 93 - Požadavek na PSt/FPP pro aktivní zónu, obsypy a zásypy (ČSN EN 14 227-14)	Požadavek splněn.
Úplné vyplnění potrubí	Neověřeno	100 %	Předpoklad projektové dokumentace.	Neověřeno.
				Pro splnění požadavku doporučuji před započítím prací provést diagnostiku stavu rušené kanalizace.

## 7. Ověření použité receptury CPS 1,8 – laboratorní výroba

V této kapitole jsem prověřil recepturu, kterou Zhotovitel stavby předložil ke schválení výrobku. V laboratorních podmínkách jsem umíchal cementopopílkovou suspenzi a následně odebral dvě zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti v tlaku.

Pro míchání suspenze bylo použito totožné dávkování složek, tedy:

Cement CE II / B-S 32,5	12,60 %
Popílek Mělník	44,63 %
Voda	25,20 %
Kamenivo fr 0/4	17,57 %

### 7.1. Výroba zkušebních těles

Výroba zkušebních těles byla zcela dle ČSN EN 12390-2 za použití plastových forem o rozměrech 150x150x150 mm.

Postup výroby zkušebních těles:

- Číselné označení forem a umístění na rovnou podložku. Celkem byly použity dvě formy označeny 3B, 5B.
- Ošetření forem separačním prostředkem totožným, jako v případě odběru těles na místě stavby.
- Míchání cementopopílkové suspenze dle výše uvedené receptury. Pro vážení jednotlivých složek byla použita digitální váha a míchání probíhalo pomocí elektrického míchadla.
- Dávkování do forem jsem prováděl do forem pomocí stavební fanky, a to vždy po třech vrstvách za průběžného hutnění pomocí propichovací tyče.
- Po dokončení hutnění byla odstraněna přebytečná suspenze z hran zkušebních forem.
- Po dokončení byl proveden záznam o odběru vzorku. [Příloha č. 5]





Obrázek 41 - Výroba zkušebních těles 3B, 5B

#### Ošetřování zkušebních těles:

- V období: 21.9.2019 – 27.9.2019
  - Zrání těles v laboratorních podmínkách při teplotě 20 °C
  - Ve formě při zakrytí igelitovou folií z důvodu zamezení nadměrného vysušování vzorku.
- V termínu: 27.9.2019
  - Vyjmutí zkušebních těles z plastových forem pomocí pece, ve které proběhne zahřátí forem na cca 80 °C.
  - Označení zkušebních těles.
  - Následně umístění zkušebních těles do vodní lázně o teplotě  $20 \pm 5$  °C.

## 7.2. Zkouška pevnosti v tlaku

Postup zkoušky pevnosti v tlaku je totožný jako v předcházející části této diplomové práce, kde jsem zkoušel pevnost v tlaku cementopopílkové suspenze na tělesech odebraných při provádění prací na stavbě.

- Kontrola rozměrů zkušebních těles
  - Požadavek byl splněn, hodnoty měření jsou zaneseny v protokolu [Příloha č. 2]
- Kontrola rovinnosti a kolmosti
  - Požadavek normy byl splněn. Výsledek byl zanesen do protokolu. [Příloha č. 2]



- Stanovení objemové hmotnosti
  - Získané údaje jsem zanesl do protokolu. [Příloha č. 3]
- Stanovení pevnosti v tlaku – zatěžování lisem
  - Rychlost zatěžování lisu jsem nastavil jako v předchozím případě na hodnotu 0,08 MPa/s
  - Výsledky zkoušky pevnosti jsem zaznamenal do protokolu [Příloha č. 2]
- Posouzení porušení zkoušeného tělesa
  - Způsob porušení zkoušených těles jsem porovnával s ukázkami porušení uváděných v normě ČSN EN 12390-3.
  - Hodnocení jsem zaznamenal do tabulky celkového hodnocení [Příloha č. 4]
- Vyloučení segregace kameniva
  - Stejně jako u předchozích těles jsem po dokončení zkoušky pevnosti v tlaku přelomil zkoušené těleso a pozoroval rozptýlení zrn kameniva v ploše porušení.
  - Výsledek hodnocení segregace kameniva je uveden v tabulce celkového hodnocení. [Příloha č. 4]



Obrázek 42 - Přelomení a kontrola segregace kameniva u zkušebního tělesa 3B

#### 7.4. Vyhodnocení dosažených výsledků (laboratorní výroba těles)

V následující tabulce č. 5 je zpracován přehled požadavků na pevnost v tlaku materiálu cementopílkové suspenze. Ačkoliv výsledky zkoušky pevnosti těles 3B a 5B jsou diametrálně odlišné oproti tělesům 23C, 7E, 7B, 5A i přesto splňují normové požadavky. Zároveň hodnota pevnosti po 28 dnech na tělese 3B, která dosáhla hodnoty 4,2 MPa, již blíže odpovídá hodnotám předložených v ověřovacích zkouškách cementopílkové suspenze, která byla schválena pro použití na stavbě odpočívky Humpolec. Tento znatelný rozdíl v dosažených pevnostech v tlaku, ale i ve výsledné struktuře materiálu poukazuje na rozdíl složení suspenze deklarované ověřovacími zkouškami oproti suspenzi, která byla dopravena a použita na stavbě.

Tabulka 6 - Požadavky na metodu výplně potrubí

Požadavek:	Skutečnost	Požadavek	Předpis	Hodnocení
Pevnost v tlaku po 28 dnech	4,2 MPa	1,0 MPa	TP 146 - Požadavek na směsi určené pro zásypy (ČSN EN 14 227-1)	Požadavek splněn
		2,0 MPa	TP 93 - Požadavek na PSt/FPP pro aktivní zónu, obsypy a zásypy (ČSN EN 14 227-14)	Požadavek splněn

## 8. Variantní návrh směsi CPS-VJ

V této části práce jsem navrhl a následně vyhodnotil vlastní recepturu cementopopílkové suspenze se sníženým obsahem cementu, a naopak zvýšeným podílem elektrárenského popílku. Část kameniva jsem se rozhodl nahradit lehčeným kamenivem Liapor 1/4.

Pro míchání suspenze bylo použito následující dávkování složek, tedy:

Cement CE II / B-S 32,5	5,91%
Popílek Mělník	48,39 %
Voda	27,96 %
Kamenivo fr 0/4	10,75 %
Liapor 1/4	6,99 %

### 8.1. Výroba zkušebních těles

Postup výroby zkušebních těles byl shodný jako v předcházející části této práce. Pro výrobu těles byly použity celkem dvě plastové formy 150x150x150 mm, které jsem označil 12B, 26B. Označení forem je shodné s označením zkušebních těles po vyjmutí z forem. K míchání směsi suspenze bylo použito elektrické míchadlo, a jednotlivé složky směsi byly váženy pomocí digitální váhy. Celá výroba zkušebních těles probíhala v laboratorních podmínkách. Záznam o odběru vzorku [Příloha č. 6]



Obrázek 43 - Složky směsi suspenze CPS-VJ

### Ošetřování zkušebních těles:

- V období: 21.9.2019 – 27.9.2019
  - Zrání těles v laboratorních podmínkách při teplotě 20 °C
  - Ve formě při zakrytí igelitovou folií z důvodu zamezení nadměrného vysušování vzorku.
- V termínu: 27.9.2019
  - Vyjmutí zkušebních těles z plastových forem pomocí pece, ve které proběhne zahřátí forem na cca 80 °C.
  - Označení zkušebních těles.
  - Následně umístění zkušebních těles do vodní lázně o teplotě  $20 \pm 5$  °C.

## **9.2. Zkouška pevnosti v tlaku**

Postup zkoušky pevnosti v tlaku je totožný jako v předcházejících částech této diplomové práce.

- Kontrola rozměrů zkušebních těles
  - Požadavek byl splněn, hodnoty měření jsou zaneseny v protokolu [Příloha č. 2]
- Kontrola rovinnosti a kolmosti
  - Požadavek normy byl splněn. Výsledek byl zanesen do protokolu. [Příloha č. 2]
- Stanovení objemové hmotnosti
  - Získané údaje jsem zanesl do protokolu. [Příloha č. 3]
- Stanovení pevnosti v tlaku – zatěžování lisem
  - Výsledky zkoušky pevnosti jsem zaznamenal do protokolu [Příloha č. 2]
- Posouzení porušení zkoušeného tělesa
  - Hodnocení jsem zaznamenal do tabulky celkového hodnocení [Příloha č. 4]
- Vyloučení segregace kameniva
  - V tomto případě se segregace potvrdila, z důvodu nízké objemové hmotnosti lehčeného kameniva Liapor a velmi tekuté konzistenci suspenze došlo k částečnému oddělení zrn Liaporu od zbytku suspenze. Použití Liaporu není v tomto případě vhodné.





*Obrázek 44 - Nevyhovující porušení zkušebního tělesa 12B*



*Obrázek 45 - Nevyhovující ověření segregace*

#### 8.4. Vyhodnocení dosažených výsledků (variantní směs CPS-VJ)

V tabulce č. 6 je vyhodnocen požadavek na pevnost v tlaku. U těles 12B a 26B jsem použil suspenzi, kterou jsem sám navrhl. Při samotném návrhu jsem kladl důraz na snížení množství cementu, a naopak zvýšení podílu popílku. Dále jsem nahradil část kameniva fr. 0/4 za lehčené kamenivo Liapor 1/4, tento krok se ovšem ukázal jako nevhodný z důvodu segregace lehčeného kameniva, které se z důvodu nízké objemové hmotnosti oddělovalo od zbytku směsi.

Požadavek na pevnost v tlaku je splněn pouze částečně, a to dle požadavku technických podmínek 146. Pro aplikaci suspenze pro zaplnění potrubí je požadavek splněn, ovšem z důvodu segregace lehčeného kameniva není vhodné navrženou směs používat.

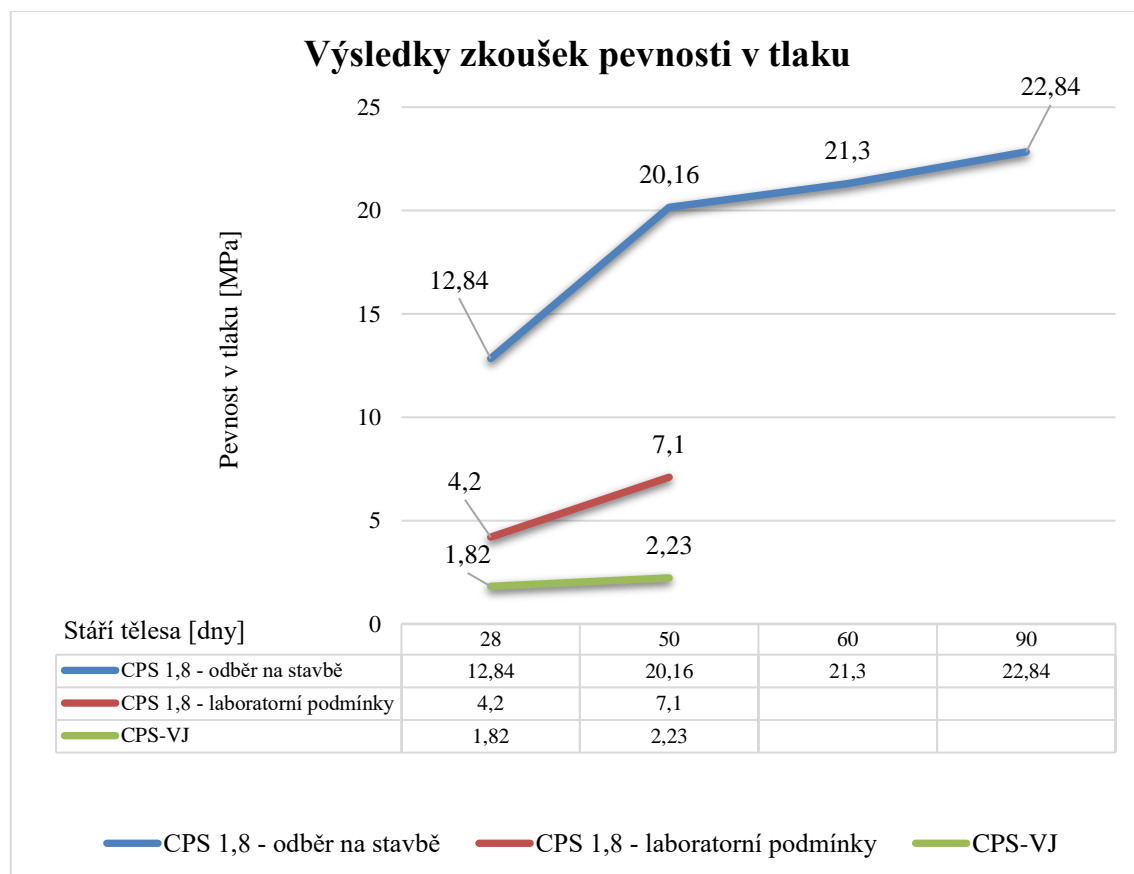
Tabulka 7 - Požadavky na metodu výplně porubí

Požadavek:	Skutečnost	Požadavek	Předpis	Hodnocení
Pevnost v tlaku po 28 dnech	1,82 MPa	1,0 MPa	TP 146 - Požadavek na směsi určené pro zásypy (ČSN EN 14 227-1)	Požadavek splněn
		2,0 MPa	TP 93 - Požadavek na PSt/FPP pro aktivní zónu, obsypy a zásypy (ČSN EN 14 227-14)	Požadavek není splněn

V případě dalšího zkoumání cementopopílkových suspenzí je dle mého názoru vhodné zaměřit se na možnost použití druhotných surovin, tedy zcela nahradit používané kamenivo fr 0/4 za recyklované kamenivo, nebo ověřit možnost použití cihelného recyklátu. Použitím těchto materiálů je možnost snížit výrobní náklady a zefektivnit výrobu s ohledem na ekologické hledisko.

## 9. Rekapitulace výsledků zkoušek pevnosti v tlaku

Na následujících grafech je znázorněn nárůst pevnosti v tlaku v závislosti na době tvrdnutí zkušebních těles. Pro snazší orientaci jsou uvedeny všechny dosažené výsledky v jednom grafu.



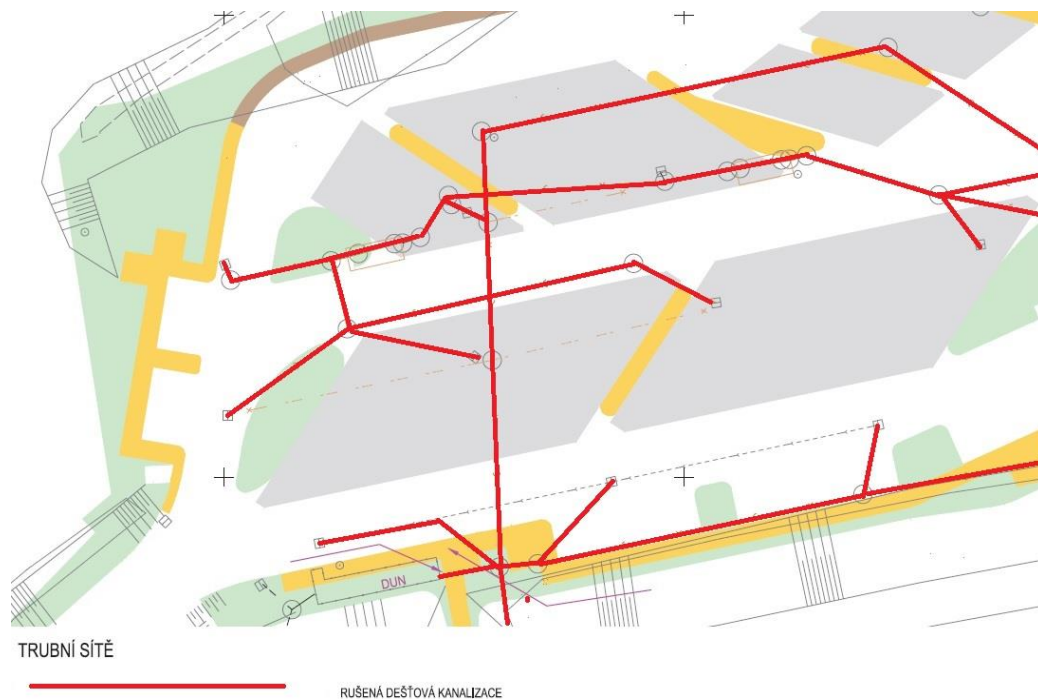
Obrázek 46 - Graf výsledky zkoušek pevnosti v tlaku

Z údajů zanesených v grafu je jasně patrný rozdíl ve výsledné pevnosti v tlaku ověřených suspenzí. Právě správným návrhem množství jednotlivých složek suspenze lze docílit potřebných parametrů suspenze i s ohledem na náklady.



## 10. Metoda úplné likvidace potrubí

V této části diplomové práce nastíním alternativní metodu likvidace rušené dešťové kanalizace v rámci rekonstrukce odpočívky Humpolec. Metoda úplné likvidace spočívá v provedení výkopů v trase původní kanalizace, a to do hloubky uložení potrubí, které bude vyjmuto a následně bude proveden zásyp vzniklých výkopů za částečného využití výkopku a popílkového stabilizátu.



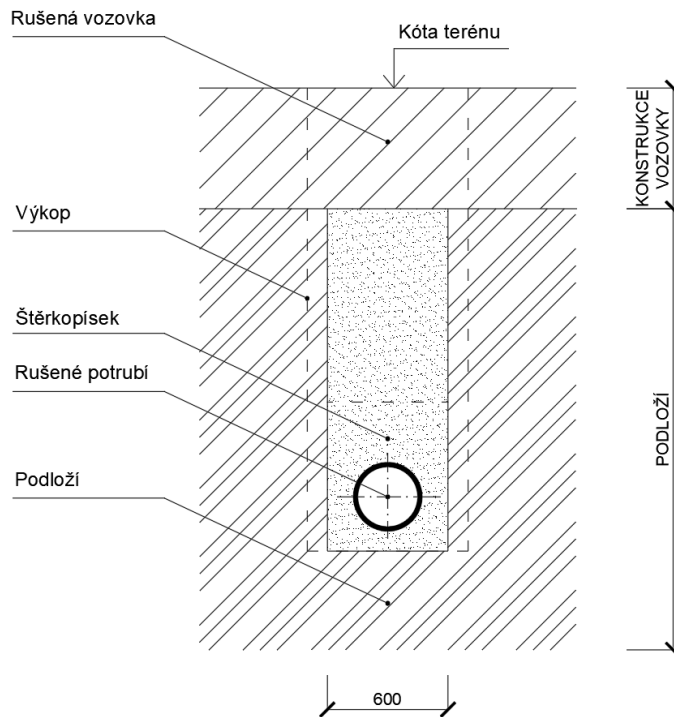
Obrázek 47 - Rozsah metody úplné likvidace potrubí [35]

Na obrázku č. 47 je vyznačena poloha rušené kanalizace. Celkem se jedná o cca 480 m dešťové kanalizace o vnitřním průměru potrubí DN 200–300 mm. Toto potrubí se nachází v hloubce 0,9 – 2,5 m pod úrovní terénu, a to částečně pod rušenými komunikacemi a částečně mimo zpevněné plochy. Z důvodu dodržení zásad BOZP předpokládám použití pažicích boxů, z toho vyplývá šířka výkopu 0,8m.

Tabulka 8 - Přehled uvažovaných prací

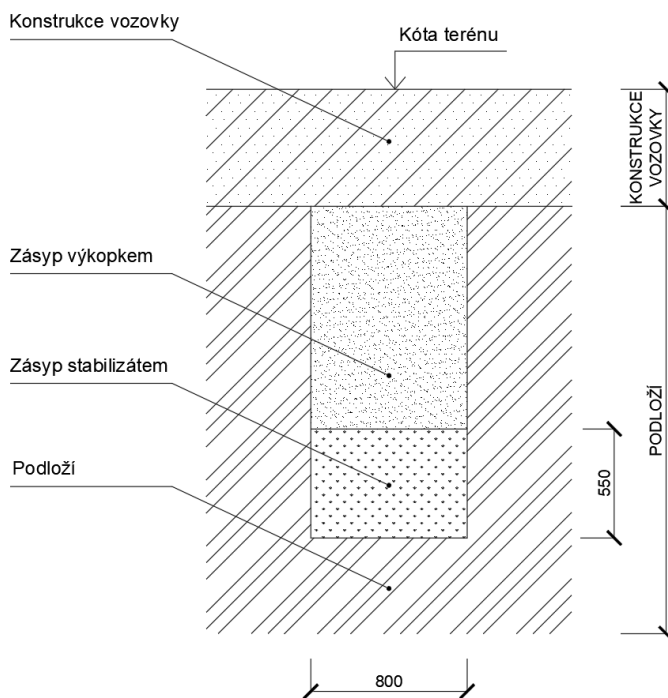
Údaj	Výměra	Jednotky
Délka rušeného potrubí	480	m
Průměrná hloubka uložení potrubí	1,9	m
Šířka uvažovaného výkopu	800	mm
<b>Objem výkopů</b>	<b>729,6</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Schéma polohy potrubí rušené kanalizace:



Obrázek 48 - Poloha rušeného potrubí

Schéma provedení zpětného zásypu:



**Návrh množství popílkového stabilizátu:**

Materiál nevhodný k opětovnému použití  
 0,6 \* 0,7 m 0,42 m<sup>3</sup>  
 (rušená kanalizace, obsyp, zásyp)

Návrh mocnosti stabilizátu:  
 0,8 \* 0,55 m 0,44 m<sup>3</sup>

Obrázek 49 - Schéma provedení zpětného zásypu

## 10.1. Použití popílkového stabilizátu pro zásypy výkopů

Poloha uvažovaného zásypu popílkovým stabilizátem je závislá na hloubce vedení rušeného potrubí, ale v zásadě nedojde k aplikaci stabilizátu do zámrné hloubky. Mocnost vrstvy zásypu stabilizátem jsem navrhl na hodnotu 550 mm.

Parametry navrženého stabilizátu:

- Fluidní ložový popel z elektrárny Ledvice + 3 %-hm. CEM II/B-M 32,5R  
Směs tohoto stabilizátu vykazuje dle zpracovaného výzkumu V. Mrázem (2016) minimální objemové změny.
- Navrženou směsí je nutné splnit požadavky na pevnost v tlaku po 28 dnech, a to hodnotu 1,5 MPa (měřeno na tělese tvaru válce, hodnota je stanovena Technickými podmínkami 93). Tento požadavek je nutné ověřit dalším výzkumem.
- Orientační hodnotu pevnosti výše uvedeného stabilizátu lze vyčíst z výzkumu V. Mráze, kde byla zkouškami dosažena hodnota  $\pm 3,0$  MPa.

[41, 42]

Uvažuji dodržení následujících zásad provádění:

- Před použitím popílkového stabilizátu je nutné zajistit odvodnění staveniště a tím zamezit případnému zaplavení popílkového stabilizátu srážkovými vodami.
- Stabilizát je do výkopu ukládán strojně, maximálně však po vrstvách 0,2 m v případě hutnění dusacími pěchy nebo 0,3 m v případě použití těžkých válců.
- Pro stanovení míry zhutnitelnosti je nutné provést podrobnější návrh.

Možná rizika použití popílkových stabilizátů:

- Riziko objemových změn stabilizátu po aplikaci do zemního tělesa.
- Malá odolnost stabilizátu v případě kontaktu s vodou (v době provádění prací).
- Nízké riziko nevyhovujících ekologických a hygienických parametrů vstupní suroviny.

## 10.2. Provádění výkopu

Při provádění úplné likvidace potrubí se nelze vyhnout poměrně rozsáhlým výkopovým pracím, s tím souvisí i nutnost dodržování zásad BOZP, ze kterých plynou nutná opatření pro práci ve výkopech. Z tohoto důvodu budu v následujícím návrhu řešení uvažovat použití pažících boxů. Kromě ochrany dělníků pracujících ve výkopech je potřeba uvažovat i ochranu proti pádu shora do výkopu.

Samotné výkopové práce je nutné rozdělit do dílčích fází:

- Přípravné práce
  - Vytyčení trasy rušené dešťové kanalizace
  - Vyznačení polohy, kde dochází ke křížení s ostatními IS (vodovod, elektro, plyn)
  - Dočasná ochrana staveniště před srážkovými vodami
- Demolice stávající konstrukce vozovky
  - Řezání konstrukce vozovky
  - Bourání souvrství vozovky
  - Třídění stavebně demoličního odpadu
- Výkop rýhy v trase kanalizace
  - Z důvodu použití pažících boxů je výkop rýhy široký 800 mm
  - V místech, kde dochází ke kolizím s ostatními IS nutno použít ruční dokopávky
  - Použití pažících boxů
  - Bourání rušeného potrubí dešťové kanalizace (strojní/ruční)
  - Třídění stavebně demoličního odpadu

Třídění získaných stavebních hmot lze rozdělit na:

- Materiál z konstrukčních vrstev vozovek
- Výkopek – materiál z podloží určený ke zpětnému zásypu
- Materiál rušené kanalizace – likvidace nebezpečného odpadu

### 10.3. Provádění zásypu výkopů za použití stabilizátu

Pro zásyp vzniklých rýh navrhuji využití materiálu získaného při provádění výkopů a částečné využití popílkového stabilizátu. Právě částečné využití stabilizátu volím z důvodu zaměření této práce na možnost využití energetického odpadu při likvidaci inženýrských sítí. Pro bezproblémové použití stabilizátu je zásadní dodržení předepsaných zásad provádění, především použití vhodného typu stabilizátu. Dle obrázku č. 49 jsem zvolil umístění stabilizátu do dna rýh, tedy polohy rušeného potrubí. Mocnost stabilizátu jsem navrhl na 550 mm, tedy ukládání do výkopu uvažuji po třech vrstvách a to 200, 200 a 150 mm za průběžného hutnění. Umístění stabilizátu je v nezámrazné hloubce a kompletně nad úrovní hladiny spodní vody. Zbylou část výkopu, tedy od úrovně popílkového stabilizátu po úroveň navrženého souvrství komunikace volím zaplnit vyzískaným výkopkem. Ukládání výkopku je uvažováno po vrstvách o mocnosti maximálně 250 mm a za průběžného hutnění.

#### Postup provádění zásypu výkopů:

- Ukládání 1. vrstvy popílkového stabilizátu (200 mm)
- Hutnění popílkového stabilizátu
- Ukládání 2. vrstvy popílkového stabilizátu (200 mm)
- Hutnění popílkového stabilizátu
- Ukládání 3. vrstvy popílkového stabilizátu (150 mm)
- Hutnění popílkového stabilizátu
- Vyjmutí pažicích boxů (za podmínky, že hloubka výkopu je < 1500 mm.)
- Ukládání 1. vrstvy zpětného zásypu (250 mm)
- Hutnění

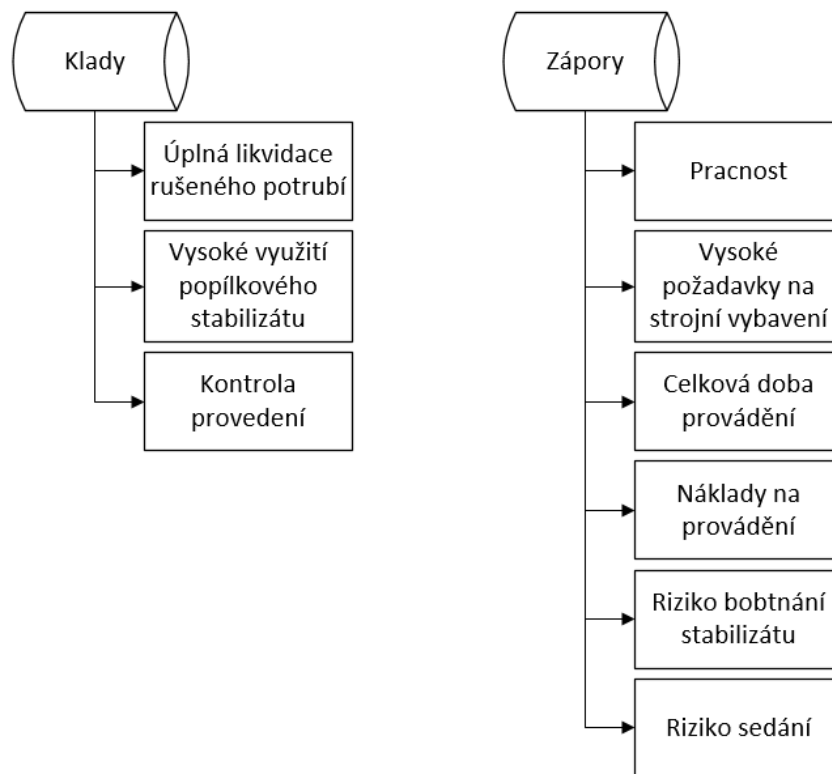
\* Postup se opakuje až po úroveň souvrství komunikace

## 10.4. Hodnocení metody úplné likvidace

Metoda úplné likvidace potrubí s částečným využitím popílkového stabilizátu je výhodná především z důvodu, že po jejím provedení získáme čisté území, tedy bez částí rušené kanalizace. Toto je výhodné právě pokud předpokládáme opětovné využití dotčeného území. Co se týče spolehlivosti daného opatření je závislé především na kvalitě a spolehlivosti vstupního materiálu, zejména pak navrženého popílkového stabilizátu.

Z celkového hlediska je tato metoda spíše nevýhodná. S ohledem na vyšší potřeby na vybavení staveniště a především na celkovou dobu provádění lze konstatovat, že navržená metoda není ekonomicky výhodná. Pro stanovení celkové doby provádění této metody jsem zpracoval časový plán viz Příloha č. 9, ze kterého vyplývá, že provedení tohoto opatření vyžaduje celkem 169 hodin práce, tedy 22 pracovních dní.

Vyhodnocení navrženého opatření:



Obrázek 50 - Vyhodnocení navržené metody úplné likvidace



## 11. Vyhodnocení uvažovaných variant

Vyhodnocení zpracovaných variant provedu v následujících kritériích:

- Vyhodnocení potřeb na vybavenost staveniště
- Časová náročnost prováděného opatření
- Finanční náklady na provedení opatření
- Kvalita a kontrolovatelnost provedeného opatření

### 11.1. Vyhodnocení potřeb na vybavenost staveniště

Porovnání potřeb výše zpracovaných variant na vybavení staveniště včetně nutné stavební mechanizace je uvedeno v následující tabulce č. 9. Z tabulky je patrný značný rozdíl potřeb, který je v neprospěch pro metodu úplné likvidace potrubí. Především nutnost používání rypadla prakticky po celou dobu provádění, ale také nevyhnutelnost použití pažení a potřeba hutnění zpětného zásypu má za příčinu, že ve srovnání s metodou výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí je potřeba strojního vybavení daleko vyšší a z toho plyne i potřeba na vyšší nasazení pracovníků. A tak lze vyhodnotit, že v tomto hodnocení je zcela výhodnější varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí.

Tabulka 9 - Vyhodnocení potřeb staveniště

Vybavenost staveniště:	Metoda výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí	Metoda úplné likvidace potrubí + zpětný zásyp stabilizátem
Rypadlo	ANO - částečně	ANO
Pažení	Ne	ANO
Ochrana proti pádu do výkopu	NE	ANO
Hutnicí prostředek	NE	ANO
Řezací pila	NE	ANO
Čerpadlo směsi	ANO	NE
Měřické vybavení (nivelační př.)	NE	ANO
Vytyčení polohy IS	ANO	ANO
Odvozní prostředek	NE	ANO
Doprava suspenze	ANO	NE
Georadar	ANO	Ne

## 11.2. Vyhodnocení časové náročnosti navržených opatření

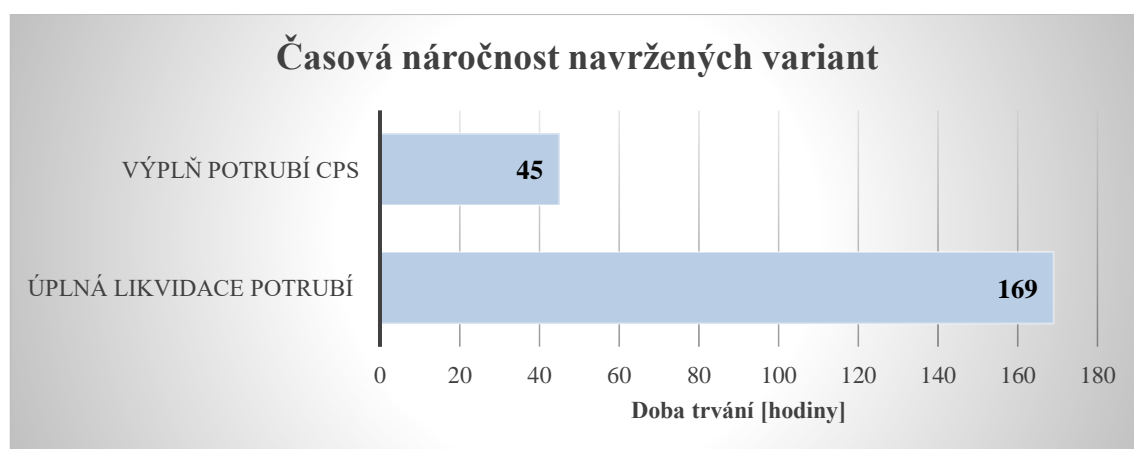
Pro vyhodnocení časové náročnosti navržených variant likvidace rušené dešťové kanalizace na stavbě rekonstrukce odpočivky Humpolec jsem zpracoval časové plány obou výše zpracovaných variant. Časové plány jsou zpracovány formou Ganttova diagramu a tvoří Přílohu č. 9 a č. 11. Pro stanovení doby trvání jednotlivých činností jsem zpracoval technologický rozbor viz Příloha č. 10 a č. 11.

### Varianta úplné likvidace potrubí:

- Z důvodu efektivního využití pažících boxů jsem práce na likvidaci celého potrubí rozložil do 10 záběrů po 50 metrech.
- Z časového hlediska jsou nejnáročnější výkopové práce, včetně bourání vrstev vozovky a následný zásyp popílkovým stabilizátem a původním výkopkem za průběžného hutnění.
- Dle harmonogramu je na provedení úplné likvidace potrubí s částečným využitím popílkového stabilizátu do zpětného zásypu výkopů potřeba celkem 169 hodin práce.

### Varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí:

- V porovnání s metodou úplné likvidace potrubí je vyplnění cementopopílkovou suspenzí mnohem efektivnější. K dokončení výplně potrubí je zapotřebí méně operací a celkově tato metoda trvá pouze 45 hodin práce.



Obrázek 51 - Graf časové náročnosti navržených variant

### 11.3. Vyhodnocení finančních nákladů na provedení opatření

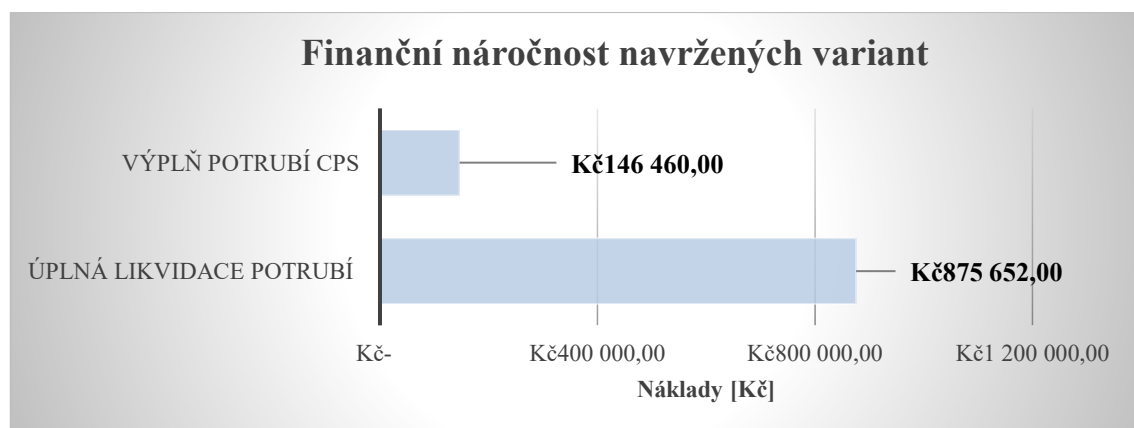
Z hlediska finanční náročnosti je jednoznačně výhodnější varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí, kdy provedení této varianty je oproti úplné likvidaci levnější o cca. 730.000 Kč. Je ovšem důležité poznamenat, že vysoké náklady na úplnou likvidaci potrubí s využitím popílkového stabilizátu do zásypů je právě z důvodu vysoké ceny stabilizátu. Zjednodušené rozpočty obou navržených variant jsou Přílohami č. 12 a č. 13.

#### Varianta úplné likvidace potrubí:

- U této varianty je dle zpracovaného rozpočtu patrné, že vysoká cena provádění opatření úplné likvidace potrubí je způsobena především cenou výkopů a dále cenou popílkového stabilizátu.
- Výslednou cenu této varianty lze snížit použitím jiného materiálu pro zpětné zásypy, než je popílkový stabilizát. Použití popílkového stabilizátu jsem navrhl z důvodu zaměření této diplomové práce.

#### Varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí:

- Varianta výplně potrubí pomocí CPS je z finančního hlediska jednoznačně výhodnější. V celkové ceně je promítnuto menší množství prováděných prací a zároveň menší množství potřebných surovin k provedení výplně potrubí.



Obrázek 52 - Graf finanční náročnosti navržených variant

## 11.4. Vyhodnocení kvality a kontrolovatelnosti

Pro docílení kvalitně provedeného opatření je zásadní dodržet předepsané pracovní postupy. Splnění normových požadavků na pevnost použitého materiálu v tlaku lze docílit oběma uvažovanými variantami, ale při návrhu opatření je důležité brát v potaz vlivy okolního prostředí, jako je například hladina spodní vody nebo případné budoucí využití dané lokality. Ovšem obě uvažované varianty mají rizikové faktory. Pro zamezení případných vad a poruch doporučuji provádět kontrolní zkoušky během provádění vlastních prací, ale i po dokončení navrženého opatření.

### Varianta úplné likvidace potrubí:

- Výsledná kvalita opatření je přímo související s kvalitou pracovního postupu. Při dodržování předepsaného pracovního postupu lze snížit riziko případného nerovnoměrného sedání zásypu rýh oproti okolnímu terénu. Dále je pro konečnou kvalitu díla důležitá i kvalita a vhodnost použitých materiálů, především správně zvolený popílkový stabilizát.
- Ačkoliv je metoda úplné likvidace potrubí časově a finančně mnohem náročnější než metoda výplně potrubí, lze touto metodou docílit trvalejšího a spolehlivějšího opatření.
- V porovnání s metodou výplně rušeného potrubí cementopopílkovou suspenzí není potřeba po dokončení prací provádět žádná kontrolní opatření.

### Varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí:

- Pro docílení kvalitně provedené výplně potrubí je zásadní dokonalá znalost rušeného potrubí, především znalost případných poruch, závalů či překážek v trase plněného potrubí.
- Předpokladem spolehlivosti provedeného opatření je úplné vyplnění všech prostor rušeného vedení. Právě pro splnění tohoto předpokladu je důležité zvolení správného pracovního postupu.
- Kontrolu provedení plnění potrubí suspenzí lze provádět, jak v průběhu plnění, kdy předpokladem úplného zaplnění, je dopravit do rušeného potrubí předem určené množství suspenze, které bylo stanoveno na základě výpočtu nebo po dokončení prací za použití speciálního vybavení, jako je například georadar.

## 11.5. Celkové hodnocení

Z celkového hlediska je nutné konstatovat, že každá z výše uvedených variant je vhodná pro použití z odlišných důvodů. Ovšem pokud budu brát v potaz cíle moderního stavitelství, kdy jsou kladeny vysoké požadavky na rychlost výstavby a samozřejmě i na vyšší konečné ceny provedeného opatření, tak v tomto ohledu je z předcházejících hodnocení jasně patrné, že varianta výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí je výhodnější.

Metodu úplné likvidace potrubí je vhodné provádět, pokud s ohledem na budoucí využití lokality je vznesen požadavek na území bez nevyužívaných inženýrských sítí. Cenu tohoto opatření lze snížit, pokud by nedošlo k částečnému využití popílkového stabilizátu do zásypů výkopů, ale zásyp byl proveden za použití cenově dostupnějších materiálů.

Variantou výplně rušené kanalizace pomocí cementopopílkové suspenze lze dosáhnout spolehlivého a trvalého opatření, ale je nutné dodržet zásady provádění a důkladně zmapovat stav zaplňovaného potrubí. Z dosažených výsledků při provádění zkoušek pevnosti v tlaku lze konstatovat, že cementopopílkovou suspenzí je možné použít jako výplňový materiál pro těžko přístupné prostory a zároveň splnit požadavky TP 93 a TP 146. Z výsledků zkoušených směsí CPS je dále patrné, že pro efektivní použití cementopopílkové suspenze je zásadní správný návrh dávkování složek směsi s ohledem na konkrétní použití. Tímto přístupem lze zefektivnit výrobu s důrazem na ekonomiku výroby, ale i s ohledem na ekologii a využívání druhotných surovin.

## 12. Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo ověření metody zaplňování potrubí cementopopílkovou suspenzí a dále návrh alternativního řešení likvidace rušené dešťové kanalizace na stavbě odpočívky Humpolec na dálnici D1, km 88,3 vlevo. Navržené varianty jsem vyhodnotil dle kritérií časové náročnosti, finančních nákladů a potřeb na vybavenost staveniště.

Z velké části diplomové práce jsem se věnoval především variantě výplně potrubí cementopopílkovou suspenzí. Právě toto řešení bylo při realizaci stavby použito. V této práci jsem ověřil použitou cementopopílkovou směs s důrazem na požadavky na pevnost v tlaku, dále jsem navrhl a ověřil možnost použití mnou navržené cementopopílkové suspenze se sníženým obsahem cementu. Jako variantní způsob likvidace rušené kanalizace jsem navrhl metodu úplné likvidace potrubí s částečným využitím popílkového stabilizátu do zpětného zásypu výkopů.

Z výsledků dosažených během zkoušek cementopopílkové suspenze lze konstatovat, že materiál je vhodný pro výplň rušených inženýrských sítí. Ovšem je důležité podotknout, že pro docílení spolehlivosti a životnosti opatření je zásadní dodržení technologické kázně během provádění. Ideálním návrhem zastoupení jednotlivých složek směsi lze docílit požadovaných pevností v tlaku s důrazem na ekonomické a ekologické požadavky. Na všech zkoušených tělesech byly dosaženy pevnosti v tlaku, které splňují požadavky technických podmínek.

Navržená varianta úplné likvidace potrubí je dle zpracovaného harmonogramu a zjednodušeného rozpočtu v porovnání s metodou výplně potrubí CPS časově i finančně náročnější. Především z těchto důvodů je metoda úplné likvidace potrubí pro požadavky moderního stavitelství nevyhovující.

Závěrem bych rád konstatoval, že během zpracovávání diplomové práce jsem trávil poměrně velké množství času v laboratoři a tuto zkušenost shledávám jako velmi přínosnou pro můj budoucí profesní život.



---

## Seznam použitých internetových zdrojů

- [1] *Druhotná surovina*  
Dostupné z: [online] září 2019  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Druhotn%C3%A1\\_surovina](https://cs.wikipedia.org/wiki/Druhotn%C3%A1_surovina)
- [2] *Ve světě na výhody použití elektrárenských popílku už přišli. A jak jsme na tom my?*  
Dostupné z: [online] září 2019  
<https://www.prumyslovaekologie.cz/info/ve-svete-na-vyhody-pouziti-elektrearskych-popilku-uz-prisli-a-jak-jsme-na-tom-my->
- [3] *Popílek*  
Dostupné z: [online] září 2019  
<http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/popilek>
- [4] *Vlastnosti fluidních elektrárenských popílků s ohledem na jejich použitelnost ve výrobě pálených staviv*  
Dostupné z: [online] září 2019  
<https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/18458-vlastnosti-fluidnich-elektrearskych-popilku-s-ohledem-na-jejich-pouzitelnost-ve-vyrobe-palenyh-staviv>
- [5] *Energosádrovec*  
Dostupné z: [online] září 2019  
<https://www.silotransport.cz/energoadrovec>
- [6] *Struska*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<http://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/struska>
- [7] *Jak se recyklují stavební a demoliční odpady (SDO)*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-stavebni-odpad>
- [8] *Cihelný recyklát*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
[http://cihlovyrecyklat.cz/cihelny\\_recyklat.html](http://cihlovyrecyklat.cz/cihelny_recyklat.html)
- [9] *Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu – dosavadní zkušenosti*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://www.silnice-mosty.cz/615-asfaltove-smesi-s-vysokym-obsahem-r-materialu-dosavadni-zkusenosti/>
- [10] *Nejčastější závady na kanalizaci a možné způsoby opravy*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<http://www.hercikakriz.cz/poradna/clanky/nejcastejsi-zavady-na-kanalizaci-a-mozne-zpusoby-opravy>

- 
- [11] *Autobusy se na Vysočanskou estakádu v Praze vrátí v sobou*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
[https://www.idnes.cz/praha/zpravy/vysocanska-estakada-oprava-autobusy-kaverna-prosek.A161014\\_104842\\_praha-zpravy\\_nub](https://www.idnes.cz/praha/zpravy/vysocanska-estakada-oprava-autobusy-kaverna-prosek.A161014_104842_praha-zpravy_nub)
- [12] *Stránského ulici uzavřela havárie kanalizace*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://kopemezabrno.cz/2019/08/19/stranskeho-ulici-uzavrela-havarie-kanalizace/>
- [13] *Technologie zaplňování prostor (podpovrchových) v dolech i na povrchu*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<http://www.koexpro.cz/new/koex/?menu=page&lang=cz&id=27>
- [14] *Cementopopilková suspenze*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<http://www.vakacz.com/suspenze.html>
- [15] *Flowable Fill*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://www.chaneyenterprises.com/FlowableFill>
- [16] *Stabilizát*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://www.cez.cz/cs/podpora/ostatni-sluzby/vedlejsi-energeticke-produkty-pro-stavebniky/stabilizat>
- [17] *Stanovení pevnosti v prostém tlaku směsí stmelých hydraulickými pojivy*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/14931-stanoveni-pevnosti-v-prostem-tlaku-smesi-stmelnych-hydraulickymi-pojivy>
- [18] *Mapové podklady*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://mapy.cz/>
- [19] *Vedlejší energetické produkty směsí s využitím ve stavebnictví*  
Dostupné z: [online] říjen 2019  
<https://docplayer.cz/11181637-Vedlejsi-energeticke-produkty-smesi-s-vyuzitim-ve-stavebnictvi-contraduct-s-r-o.html>
- [20] *Rekultivace odkališť uranového průmyslu*  
Dostupné z: [online] listopad 2019  
<https://slon.diamo.cz/hpvt/2001/sekce/sanace/12/S12.htm>
- [43] *Standardy pro kanalizační zařízení*  
Dostupné z: [online] prosinec 2019  
<http://www.vosjicin.cz/uploads/4/851578892b241de7e34c1759d53ed313.pdf>
-

## Seznam knižních zdrojů

- [21] BERÁNEK, Josef a kolektiv. *Inženýrské sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Brno 2005
- [22] *Katalog kanalizace: Trouby*. Prefa Brno a.s., 2019.
- [23] *Technické podklady: Kameninové trouby*. Steinzeung-keramo s.r.o., 2012
- [24] *Technický manuál: Kanalizační systémy*. Pipelife Czech s.r.o., 2019
- [25] *Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: . 1.: Česko, 2001, ročník 2001, 274/2001 Sb.
- [26] NOVÁK, J. a kolektiv autorů. *Příručka provozovatele stokové sítě*. Líbeznice u Prahy: Medim spol.s r.o., 2003. 156 s. ISBN 80-238-9947-3
- [27] *Příručka pracovníka s betonem*. Zapa beton a.s., 2018
- [28] *Ověřovací zkoušky cementopopilkové suspenze*. Českomoravský beton a.s., 2019
- [29] *Česká technická norma ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. 10/2009. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [30] *Obchodně technická nabídka: Nové technologie v oblasti „likvidace“ nežádoucích podpovrchových prostor*. Koexpro Ostrava a.s., 03/2015
- [31] *TP 146, Technické podmínky: Povolování a provádění výkopů a zásypů rýh pro inženýrské sítě ve vozovkách pozemních komunikací*. 11/2011. Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury. Praha 2011.
- [32] *TP 93, Technické podmínky: Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů*. 01/2001. Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury. Praha 2011
- [33] MRÁZ V., HAVLICE M., SUDA J., *Příklady využití vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích a vliv kvality vodních výluh na jejich uplatnění*. Sborník příspěvků TVIP 2017 Odpadové fórum, Aprochem.  
České ekologické manažerské centrum, 2017. ISBN 978-80-85990-30-0
- [34] *Výrobní specifikace cementopopilková suspenze CPS 1,8*. Českomoravský beton, a.s., 08/2019
-

- [35] PUDIS a.s., *Projektová dokumentace ve stupni PDPS Dálnice D1, odpočívka Humpolec, km 8,3 vlevo. 09/2018*
- [36] TP 83, *Technické podmínky: Odvodnění pozemních komunikací. 2014. Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury. Praha 2014.*
- [37] Lidmila M. a kolektiv autorů. *Popílkový stabilizát v konstrukci pražcového podloží. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Brno 2015* ISBN: 978-80-214-5250-3
- [38] *Česká technická norma ČSN 73 6005 Prostorové uspořádání sítí technického vybavení. 10/1994. Praha: Český normalizační institut, 1994.*
- [39] *Česká technická norma ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy. 03/2013. Praha: Český normalizační institut, 2013.*
- [40] *Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: 1: Česko, 2001, ročník 2001, 185/2001 Sb.*
- [41] Mráz V. a kolektiv autorů. *Limitní faktory uplatnitelnosti specifických typů vedlejších energetických produktů v zemních konstrukcích silničních staveb. Březen 2017.*  
*Silniční obzor – roč. 78.* ISSN: 0322-7154 47 320
- [42] Mráz V. a kolektiv autorů. *Experimental Assessment of Fly-Ash Stabilized and Recycled Mixes. Březen 2015.*  
*Journal of Testing and Evaluation* DOI: 10.1520/JTE20140097
-

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - SCHÉMA ROZDĚLENÍ INŽENÝRSKÝCH SÍŤÍ.....	14	
OBRÁZEK 2 - SOUBĚH A KŘÍŽENÍ VEDENÍ IS [21].....	15	
OBRÁZEK 3 - PŘÍKLAD ODSUPOVÝCH VZDÁLENOSTÍ IS [38].....	15	
OBRÁZEK 4 - IS VZOROVÝ PŘÍČNÝ PROFIL [21].....	16	
OBRÁZEK 5 - ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ .....	19	
OBRÁZEK 6 - ŘEZ VEJČITOU TROUBOU [22].....	OBRÁZEK 7 - ŘEZ ŽLABOVOU TROUBOU [22] .....	20
OBRÁZEK 8 - HRDLOVÁ TROUBA S PRYŽOVÝM TĚSNĚNÍM [23] .....	21	
OBRÁZEK 9 - ABRAZE MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH PRO KANALIZACE [24].....	22	
OBRÁZEK 10 - SYSTÉM PRAGMA HIGHWAY [23] .....	22	
OBRÁZEK 11 - GRAF ŽIVOTNOSTI MATERIÁLŮ KANALIZACÍ.....	23	
OBRÁZEK 12 - PŘÍKLAD STATICKÉHO PORUŠENÍ BETONOVÝCH TRUB KANALIZACE [10] .....	24	
OBRÁZEK 13 - PROPAD KOMUNIKACE [11] .....	26	
OBRÁZEK 14 - PROPAD BETONOVÉ KANALIZACE [12] .....	26	
OBRÁZEK 15 - CEMENTOPOPÍLKOVÁ SUSPENZE.....	30	
OBRÁZEK 16 - SLOŽKY CEMENTOPOPÍLKOVÉ SUSPENZE [13, 28].....	32	
OBRÁZEK 17 - ZKUŠEBNÍ FORMA (KRYCHLE 150X150X150 MM).....	33	
OBRÁZEK 18 - SCHÉMA VÝHOD A NEVÝHOD ZAPLŇOVÁNÍ POTRUBÍ.....	35	
OBRÁZEK 19 - VÝPLŇ MEZIKRUŽÍ KANALIZACE POMOCÍ CPS 3,5 [30] .....	36	
OBRÁZEK 20 - APLIKACE CPS 7 Z VNITŘNÍ STRANY MEZIPROSTORU [30] .....	37	
OBRÁZEK 21 - OCHRANNÁ HRÁZ PARDUBICE [37] .....	40	
OBRÁZEK 22 - SCHÉMA VÝHOD A NEVÝHOD LIKVIDACE PORUBÍ S VYUŽITÍM ZÁSYPY STABILIZÁTEM .....	42	
OBRÁZEK 23 - PROVÁDĚNÍ PROTIPOVODŇOVÉ HRÁZE [19] .....	43	
OBRÁZEK 24 - PŘÍČNÝ ŘEZ ZKUŠEBNÍHO ÚSEKU [37].....	44	
OBRÁZEK 25 PRODUKCE VEP V ČR ZA ROK 2015 [%] [2] .....	46	
OBRÁZEK 26 - CHEMICKÉ SLOŽENÍ POPÍLKŮ [4] .....	47	
OBRÁZEK 27 - POLOHA STAVBY ODPOČÍVKY HUMPOLEC [18].....	54	
OBRÁZEK 28 - ODPOČÍVKA HUMPOLEC VLEVO - STAV PŘED REKONSTRUKCÍ [18].....	55	
OBRÁZEK 29 - ODPOČÍVKA HUMPOLEC VLEVO – ROZSAH REKONSTRUKCE [35] .....	55	
OBRÁZEK 30 - ROZSAH LIKVIDACE DEŠŤOVÉ KANALIZACE [35] .....	56	
OBRÁZEK 31 – POUŽITÝ POSTUP LIKVIDACE POTRUBÍ [35] .....	57	
OBRÁZEK 32 - ZVOLENÝ POSTUP VÝPLNĚ POTRUBÍ CEMENTOPOPÍLKOVOU SUSPENZÍ.....	59	
OBRÁZEK 33 - ODBĚR ZKUŠEBNÍCH TĚLES V MÍSTĚ STAVBY .....	60	
OBRÁZEK 34 - POUŽITÝ ZKUŠEBNÍ LIS CONTROLS 50-C78Z00.....	62	
OBRÁZEK 35 - KONTROLA ROZMĚRŮ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 23C .....	63	
OBRÁZEK 36 - KONTROLA ROVINNOSTI ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 23C.....	64	
OBRÁZEK 37 - KONTROLA KOLMOSTI ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 23C .....	65	
OBRÁZEK 38 - ZPŮSOB PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 23C.....	66	
OBRÁZEK 39 - GRAFICKÝ VÝSTUP SOFTWARE ZATĚŽOVACÍHO LISU.....	67	

---

OBRÁZEK 40 - POROVNÁNÍ SLOŽEK SMĚSÍ .....	69
OBRÁZEK 41 - VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES 3B, 5B.....	72
OBRÁZEK 42 - PŘELOMENÍ A KONTROLA SEGREGACE KAMENIVA U ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 3B .....	73
OBRÁZEK 43 - SLOŽKY SMĚSI SUSPENZE CPS-VJ.....	75
OBRÁZEK 44 - NEVYHOVUJÍCÍ PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 12B.....	77
OBRÁZEK 45 - NEVYHOVUJÍCÍ OVĚŘENÍ SEGREGACE .....	77
OBRÁZEK 46 - GRAF VÝSLEDKY ZKOUŠEK PEVNOSTI V TLAKU .....	79
OBRÁZEK 47 - ROZSAH METODY ÚPLNÉ LIKVIDACE POTRUBÍ [35] .....	80
OBRÁZEK 48 - POLOHA RUŠENÉHO POTRUBÍ.....	81
OBRÁZEK 49 - SCHÉMA PROVEDENÍ ZPĚTNÉHO ZÁSYPU.....	81
OBRÁZEK 50 - VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉ METODY ÚPLNÉ LIKVIDACE.....	85
OBRÁZEK 51 - GRAF ČASOVÉ NÁROČNOSTI NAVRŽENÝCH VARIANT.....	87
OBRÁZEK 52 - GRAF FINANČNÍ NÁROČNOSTI NAVRŽENÝCH VARIANT .....	88

## Seznam tabulek

TABULKA 1 - UŽITÍ POPÍLKOVÉHO STABILIZÁTU V KONSTRUKCÍCH PK [32] .....	40
TABULKA 2 - POUŽITELNOST DRUHOTNÝCH SUROVIN.....	51
TABULKA 3 - RECEPTURA CPS 1,8 [34] .....	60
TABULKA 4 - PŘEHLED ODEBRANÝCH TĚLES PŘI PROVÁDĚNÍ STAVBY .....	62
TABULKA 5 - POŽADAVKY NA METODU VÝPLNĚ POTRUBÍ.....	70
TABULKA 6 - POŽADAVKY NA METODU VÝPLNĚ POTRUBÍ.....	74
TABULKA 7 - POŽADAVKY NA METODU VÝPLNĚ PORUBÍ .....	78
TABULKA 8 - PŘEHLED UVAŽOVANÝCH PRACÍ.....	80
TABULKA 9 - VYHODNOCENÍ POTŘEB STAVENIŠTĚ .....	86

## Seznam rovnic

ROVNICE 1 - VÝPOČET OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	65
--	----

## **Seznam příloh**

- Příloha 1 – Záznam o odběru vzorku (stavba)
- Příloha 2 – Kontrola rozměrů, rovinnosti a kolmosti
- Příloha 3 – Protokol kontrola rozměrů, rovinnosti a kolmosti
- Příloha 4 – Tabulka celkového hodnocení
- Příloha 5 – Záznam o odběru vzorku (originální receptura, laboratorní podmínky),
- Příloha 6 – Záznam o odběru vzorku CPS-VJ
- Příloha 7 – Dodací list záměsi
- Příloha 8 – Technologický rozbor – metoda úplné likvidace potrubí
- Příloha 9 – Časový plán metody úplné likvidace potrubí
- Příloha 10 – Technologický rozbor – metoda výplně potrubí CPS
- Příloha 11 – Časový plán metody výplně potrubí CPS
- Příloha 12 – Zjednodušený rozpočet varianty úplné likvidace potrubí
- Příloha 13 – Zjednodušený rozpočet varianty výplně potrubí CPS



## **13. Přílohy**