



MASARYKOVA UNIVERZITA

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav geologických věd



Kateřina Schrimpelová

Drenážní efekt stokové sítě v krajině

(rešerše k bakalářské práci)

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D.

Odborný konzultant:

Doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.

OBSAH

1. Úvod	3
2. Stoková síť	4
2.1 Druhy stokových soustav	4
2.2 Návrhové parametry stokové sítě	4
2.2.1 Směrové a výškové poměry	5
2.2.2 Sklony potrubí	5
2.2.3 Tvary a rozměry příčných profilů potrubí	5
2.2.4 Materiály potrubí	6
2.3 Uložení potrubí v otevřeném výkopu	6
2.4 Drenáž	7
2.5 Poruchy na stokách	8
3. Privilegované cesty proudění podzemních vod	9
3.1 Interakce stokového potrubí a podzemních vod	9
3.1.1 Infiltrace	11
3.1.2 Exfiltrace	11
3.1.3 Stanovení průtoku infiltrované/exfiltrované vody	12
3.2 Proudění podzemní vody obsypem	13
4. Proudění podzemní vody v horninovém prostředí	14
4.1 Proudění v nesaturované zóně	15
5. Vlastnosti hornin	16
5.1 Propustnost hornin	16
5.2 Pórovitost hornin	17
5.3 Hydraulická vodivost a koeficient propustnosti hornin	18
6. Matematické modely	20
7. Charakteristika lokality	21
7.1 Geologické poměry	21
7.1.1 Geologický vývoj okolí	23
8. Literatura	24
9. Přílohy	27

1. ÚVOD

Čištění odpadních vod má příznivý vliv na životní prostředí, ale výstavba stokové sítě může negativně ovlivnit hydrogeologické podmínky v okolí. Jsou vytvářeny privilegované cesty proudění podzemní vody a je narušen přirozený plošný odtok. Drenážní efekt stokové sítě může způsobit snížení hladiny podzemních vod a změnu vlhkostních poměrů v krajině.

Tato problematika není řešena v právních předpisech a normách, ani není zohledňována při výstavbě.

Cílem práce je posoudit důležitost řešení tohoto problému, prokázat jeho oprávněnost a navrhnout opatření, vedoucí ke snížení negativních důsledků. Konkrétní lokalitou pro zdokumentování drenážního efektu vlivem výstavby kanalizace bude obec Tvarožná.

2. STOKOVÁ SÍŤ

Dle ČSN 75 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky* je stoková síť definována jako soustava stok a objektů (např. vstupních šachet, uličních vpustí, odlehčovacích komor, dešťových nádrží) určených k zachycování a odvádění odpadních vod z daného území. Stokové sítě jsou budovány za účelem odvedení splaškových nebo dešťových vod z urbanizovaných území do ČOV či recipientu. Stoky jsou liniové stavby pokrývající rozsáhlá území. Tvoří je podsyp, drenáž, potrubí, obsyp a zásyp. Mají být navrhovány a prováděny jako vodotěsné konstrukce, ale staré a nesprávně provedené stoky často bývají propustné (Ellis, 2001).

2.1 Druhy stokových soustav

Stokové soustavy se dělí dle druhu odváděných odpadních vod na jednotné, oddílné a modifikované (Hlavínek *et al.*, 2001). Jednotná stoková soustava odvádí současně dešťové a splaškové odpadní vody. U oddílné soustavy jsou budovány odlišné sítě pro oba typy vod. Modifikovaná soustava je kombinací jednotné a oddílné soustavy.

Stokové soustavy lze také rozdělit podle způsobu odkanalizování na tradiční, tj. gravitační, a alternativní způsoby (tlaková, podtlaková, nebo maloprofilová kanalizace).

2.2 Návrhové parametry stokové sítě

Při navrhování stokové sítě vycházíme z ČSN 75 6101 *Stokové sítě a kanalizační přípojky*, ČSN EN 752 *Odvodňovací systémy vně budov*, ČSN EN 1610 *Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení*, TNV 75 0211 *Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi – Statický výpočet* a TNV 75 6011 *Ochrana prostředí kolem kanalizačních zařízení*.

2.2.1 Směrové a výškové poměry

Stoky vedou mezi šachtami nebo jinými objekty v přímé trase. Stoka musí být uložena v nezámrazné hloubce, doporučená minimální hloubka krytí stoky pod silniční komunikací je 1,80 m. Maximální doporučená hloubka dna uliční stoky je 6,0 m, sběrače mohou být umístěny hlouběji.

2.2.2 Sklony potrubí

Sklon gravitační stoky je navrhován na základě morfologie terénu, je zohledňován i profil potrubí a použitý materiál. Sklon výkopové rýhy je stejný jako sklon potrubí.

Minimální sklon musí být v souladu se zajištěním dostatečné unášecí síly, aby bylo zamezeno zanášení stok. Při menším sklonu je nutné proplachování, nebo provádět jiné čištění stok. Minimální sklon v ‰ je také možné orientačně vypočítat ze vztahu $I_{\min} = 1631/D$, kde D je průměr kruhové stoky, nebo šířka nekruhové stoky v mm.

Maximální sklon gravitačních stok závisí na použitém materiálu, průtočná rychlost při daném sklonu nesmí překročit 5 m/s, výjimku tvoří odolné materiály, jako například kamenina, u kterých může být průtočná rychlost až 10 m/s. Naopak u monolitických betonových a železobetonových stok je maximální rychlost pouze 3 m/s a v těchto případech je vhodně chránit vnitřní povrch obložením z odolnějšího materiálu.

2.2.3 Tvary a rozměry příčných profilů potrubí

Nejčastější tvary příčných profilů kanalizačních trub používané v současnosti jsou kruhový, tlamový a vejčitý.

Kruhové profily jsou definovány jmenovitou světlostí DN (*diameter nominale*) v milimetrech. Zpravidla je to vnitřní průměr potrubí (DN/ID), u plastů vnější (DN/OD). Je to celé číslo, které se přibližně rovná vnitřnímu /vnějšímu průměru v milimetrech. Kruhové potrubí bývá vyráběno v typizovaných výrobních řadách – DN 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200..., ale některé materiály mají výrobní řady odlišné. Další tvary profilů jsou určeny poměrem šířky k výšce (b:h) v milimetrech.

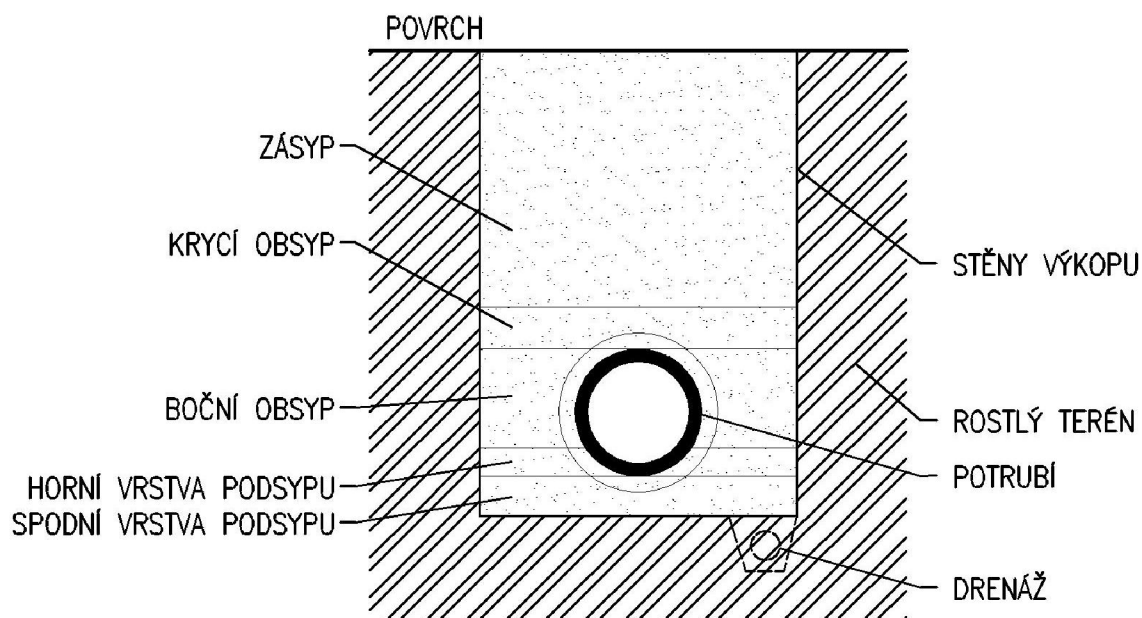
Pro gravitační stokovou síť je možné použít kruhové potrubí s minimální světlostí potrubí DN 250 z kameniny a plastů, nebo DN 300 z jiných materiálů. V tlakových nebo podtlakových úsecích může být světlost menší.

2.2.4 Materiály potrubí

Stoky rozdělujeme na trubní, betonované nebo zděné na místě, případně ze stavebních dílců. Trubní stoky jsou budovány nejčastěji z kameniny, betonu, železobetonu, polymerbetonu, sklolaminátu, plastů, šedé a tvárné litiny, čediče, vláknocementu či jejich kombinací (Hlavínek *et al.*, 2001).

2.3 Uložení potrubí v otevřeném výkopu

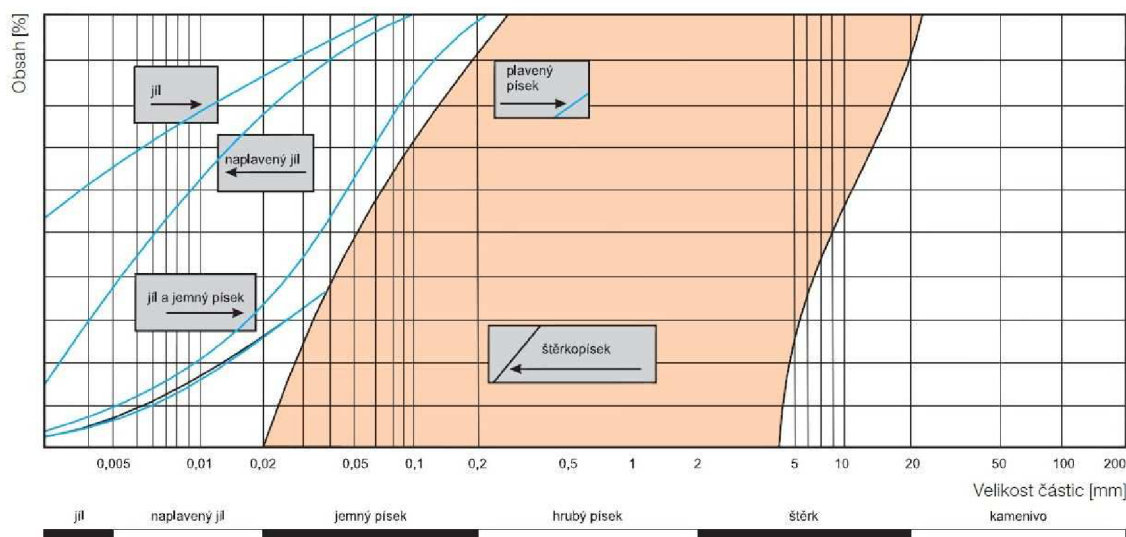
Uložení potrubí je velmi variabilní, je dáno výrobcem podle druhu profilu zvoleného potrubí, materiálu potrubí, zatížení potrubí, geologickými podmínkami a místními podmínkami (požadavky na prostor). Zpravidla je tvořeno podsypem, obsypem a zásypem různých materiálů a frakcí. Příklady vzorového uložení výrobců jsou v příloze 1, 2. Jednotlivé vrstvy podsypu, obsypu a zásypu jsou znázorněny na Obr. 1.



Obr. 1. Vzorové uložení potrubí podle Nováka *et al.*(2003), upraveno.

Norma ČSN 75 6101 udává minimální tloušťku podsypu 100 mm a maximální velikost zrna 8 mm (pokud tyto zeminy tvoří podklad, lze podsyp vynechat). Pro obsyp potrubí je udávána maximální velikost zrna 15 mm, výjimkou jsou obetonované stoky, u kterých je maximální velikost zrna 30 mm a plastové potrubí s maximální velikostí zrna 8 mm. Jednotlivé vrstvy musí být zhutněny.

Typ a vlastnosti materiálu stanovuje projektant a výrobce potrubí. Nejčastěji se používá stejnozrný štěrk, zrnitý materiál s odstupňovanou zrnitostí, písek, drcené stavební materiály, které nemají negativní vliv na potrubí ani na životní prostředí, stavební materiály s hydraulickými pojivy, nebo původní zemina, pokud splňuje dané parametry (Novák *et al.*, 2003). Například výrobce WAVIN OSMA s.r.o. pro PVC trubky KG-System doporučuje obsypový materiál dle nomogramu na Obr. 2.



Obr. 2. Nomogram rozdělení materiálu obsypu a zásypu – vhodná zrnitost označena béžově (WAVIN OSMA s.r.o.).

2.4 Drenáž

Podle ČSN 75 6101 je z důvodu ochrany jílovitého dna před rozbahněním nebo je-li dno pod úrovní hladiny podzemní vody prováděna ve dně výkopu drenáž se štěrkovým obsypem. Voda odtéká drenáží gravitačně nebo je čerpána z jímek. Drenáž by neměla být napojena do stávající stoky a její funkce by měla skončit po vybudování stoky.

2.5 Poruchy na stokách

Poruchy stokových sítí jsou vyhodnocovány podle ČSN EN 13508-2 *Posuzování stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek*. Stav stoky je obvykle vyhodnocován vizuálně přímo, nebo nepřímo na základě TV-kamery, či jiného zařízení (Raclavský *et al.*, 2006).

Netěsnosti stok jsou často způsobeny stářím, v některých evropských městech jsou stokové systémy staré více než 100 let (Ellis, 2001). Stoky mohou být také špatně postavené, nebo byl použit nekvalitní stavební materiál. Negativním vlivem může být také zvýšené zatížení dopravou, které nebylo bráno v potaz při výstavbě. Stoky bývají nedostatečně udržovány a z finančních důvodů se neprovádí včasná sanace. Může dojít i k úplnému kolapsu potrubí.

3. PRIVILEGOVANÉ CESTY PROUDĚNÍ PODZEMNÍCH VOD

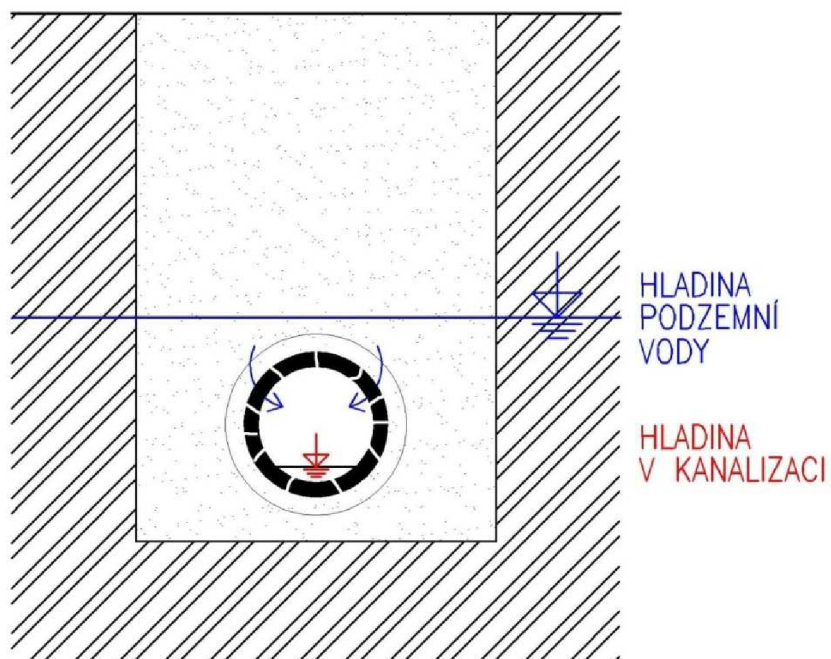
Výstavba stokové sítě je zásahem do proudění podzemních vod, vznikají antropogenní cesty soustředěného podzemního odtoku. Těmito cestami jsou obsypové vrstvy, nebo porušené potrubí.

3.1 Interakce stokového potrubí a podzemních vod

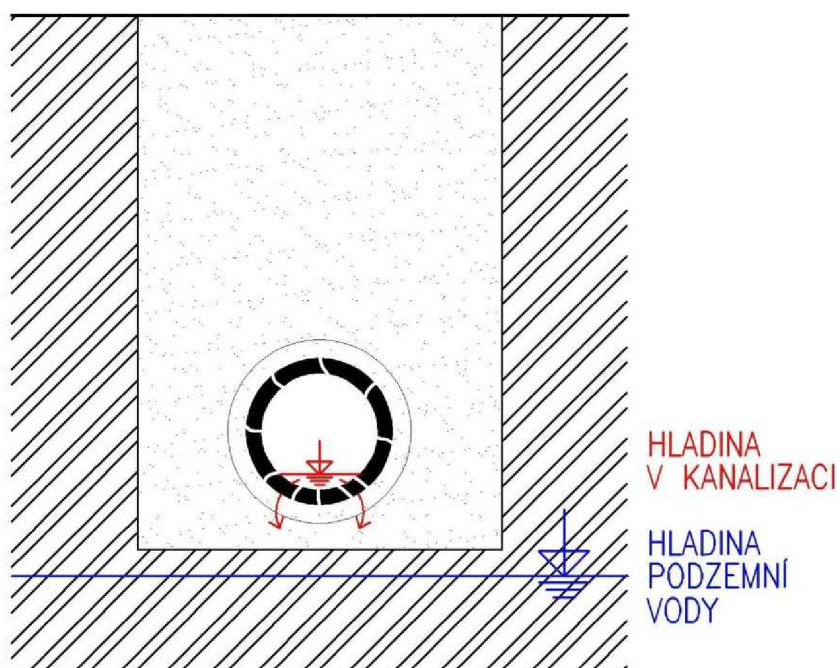
Ačkoli by měla být kanalizace vodotěsná, u starších sítí nebo při špatném provedení jsou časté netěsnosti. Dochází k infiltraci, nebo exfiltraci. Tyto procesy se navzájem ovlivňují a přímo ovlivňují kanalizaci a ČOV i hladinu podzemní vody a její kvalitu. Také nepřímo ovlivňují využití vody v celém povodí (Ellis, 2001).

V Bukurešti byl zahájen výzkum interakce mezi podzemními vodami a stokovou sítí. Nedávné závěry ukazují, že kanalizace funguje jako drenážní systém pro podzemní vody. Průsak podzemní vody do potrubí způsobuje pokles hladiny podzemní vody a také zvýšení průtoku v kanalizaci. Toto naředění odpadní vody nepříznivě ovlivňuje účinnost ČOV. Také dochází k exfiltraci odpadní vody z kanalizace, to má za příčinu kontaminaci podzemních vod a může i lokálně zvýšit hladinu podzemní vod (Boukhemacha *et al.*, 2012).

Zjednodušeně lze říci, že pokud bude hladina podzemní vody výše než hladina v kanalizaci, bude docházet k infiltraci (Obr. 3.), a pokud bude níže, bude docházet k exfiltraci (Obr. 4.). To platí v případě netlakového proudění v potrubí a volné zvodni, při úvaze stejné hustoty podzemních a odpadních vod.



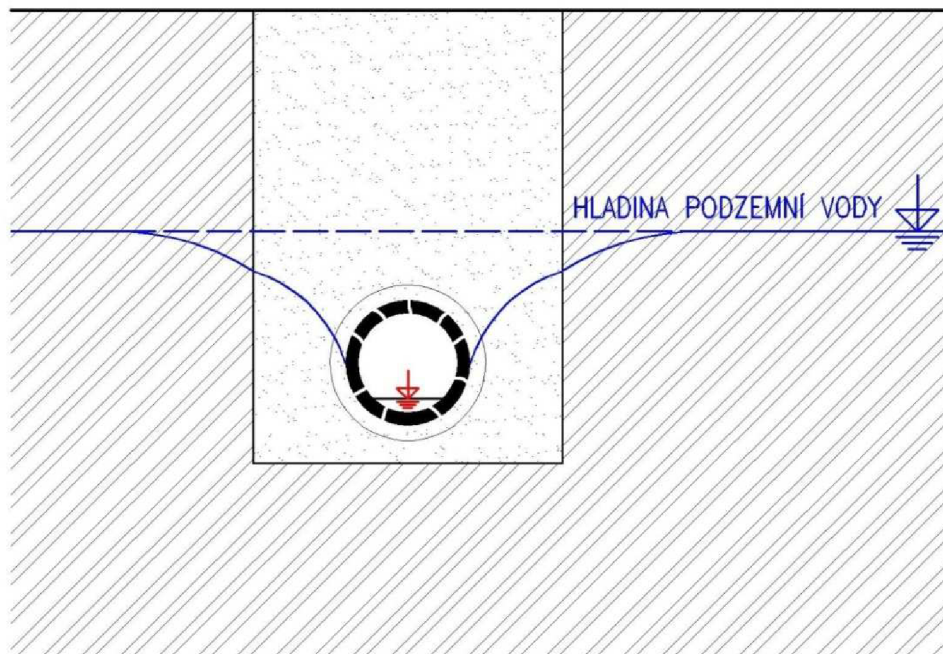
Obr. 3. Hladina podzemní vody nad úrovní hladiny v kanalizaci – drenáž porušeným potrubím.



Obr. 4. Hladina podzemní vody pod úrovní hladiny v kanalizaci – dotování podzemní vody odpadními vodami z kanalizace.

3.1.1 Infiltrace

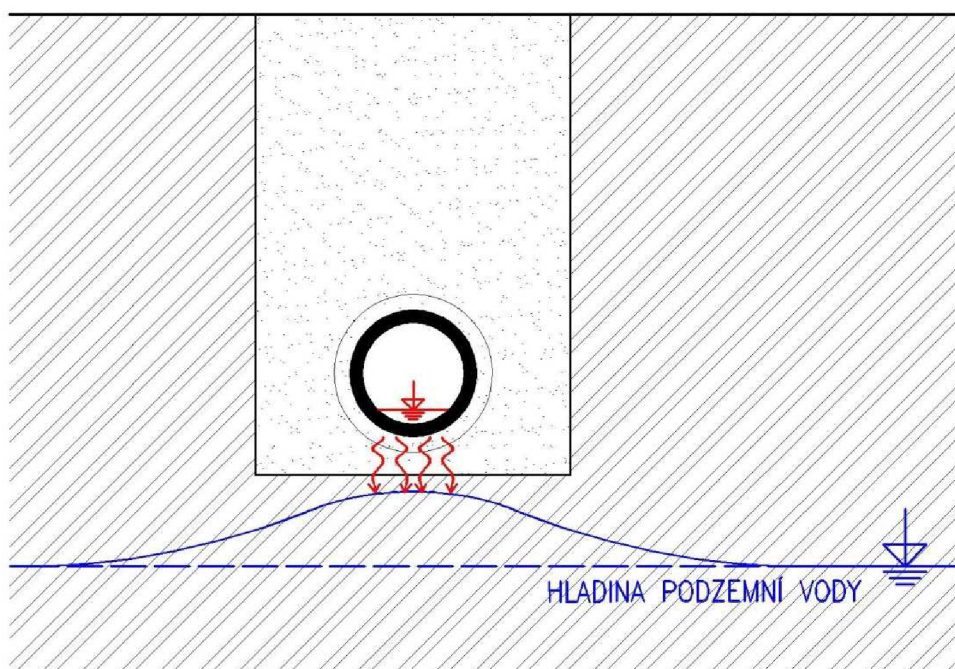
Netěsné stoky mohou působit jako drenáž a zrychlovat odtok vody v blízkém okolí, což může mít za následek lokální snižování hladiny podzemní vody (Obr. 5.). Infiltrace podzemních vod do kanalizace současně snižuje hydraulickou kapacitu potrubí a zvyšuje riziko zaplavení povrchu. Pokud jsou lokálně velmi vysoké hladiny podzemní vody, zvyšuje se frekvence přetečení v odlehčovacích komorách i během suchého počasí. Dalším negativním důsledkem je snížení účinnosti ČOV, do které přitéká větší množství odpadní vody s nižšími koncentracemi znečištění. Infiltrace také zvyšuje množství sedimentu v potrubí, čímž se snižuje průtočný profil.



Obr. 5. Snižování hladiny podzemní vody způsobené drenáží stokovým potrubím.

3.1.2 Exfiltrace

Opačným případem je výtok odpadní vody z potrubí do horninového prostředí, čímž dochází k exfiltraci. Exfiltrace, neboli prosakování, může mít vliv na lokální zvyšování hladiny podzemní vody (Obr. 6.). Množství prosáklé vody bývá zanedbatelné, ale v jistých případech může mít na hladinu podzemní vody značný vliv. Smísení odpadních vod spolu s podzemní vodou může zapříčinit její kontaminaci zejména bakteriemi a nutrienty (Ellis, 2001).



Obr. 6. Zvýšení hladiny podzemní vody způsobené exfiltrací odpadní vody

3.1.3 Stanovení průtoku infiltrované/exfiltrované vody

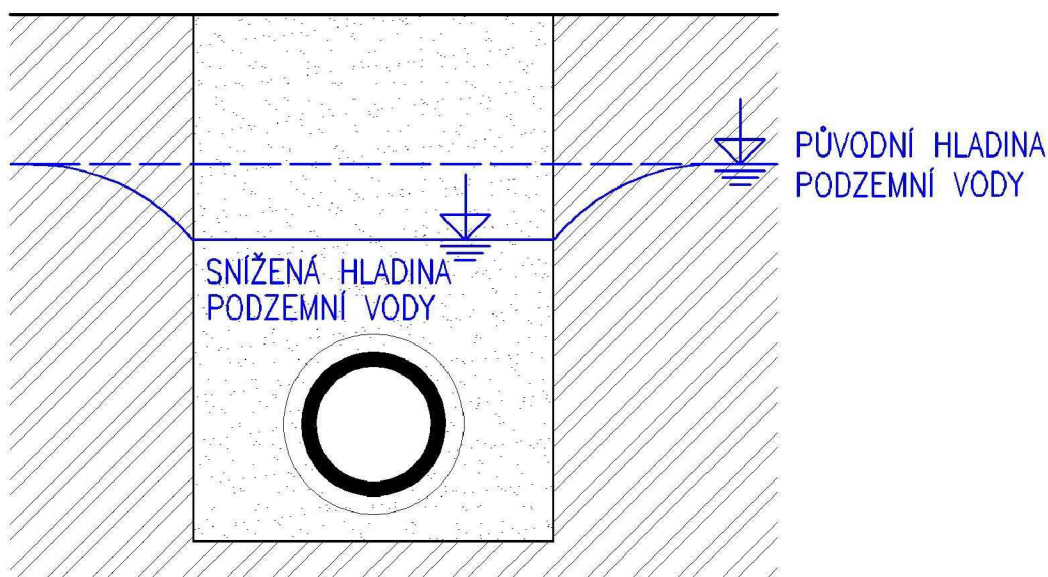
Stanovení průtoku infiltrované/exfiltrované vody bývá značně obtížné. Metody pro určování těchto hodnot se dělí na nepřímé a přímé. Nepřímé metody odhadují množství na základě monitorování podzemních vod a vodní bilance. Při přímých metodách jsou zkoumány jednotlivé trubky a poruchy (Rutsch *et al.*, 2008). Existuje významná korelace mezi koeficientem infiltrace a stářím potrubí a jeho stavem (Karpf & Krebs, 2011).

Bylo provedeno mnoho pokusů zjišťující množství prosáklé vody z kanalizace, které se ale značně liší. Významné rozdíly jsou mezi laboratorními pokusy a pokusy v reálné stokové síti. Také jsou používány různé jednotky pro prosáklé množství, které se mnohdy nedají srovnávat (Rutsch *et al.*, 2008).

Množství infiltrované vody lze orientačně zjistit měřením průtoku v kanalizaci v ranních hodinách (u jednotné kanalizace při bezdeštném průtoku). V době mezi 3. a 5. hodinou jsou průtoky způsobené obyvatelstvem minimální. V případě dalšího přítoku odpadních vod v nočních hodinách, např. z průmyslu, můžeme odhadnout množství vypouštěné odpadní vody a můžeme jej odečíst.

3.2 Proudění podzemní vody obsypem

Podzemní voda proudí do míst s nižším hydraulickým potenciálem, ve směru hydraulického gradientu. Obsypové vrstvy mají obvykle vyšší hydraulickou vodivost, z tohoto důvodu zde voda může rychleji odtékat a dochází k lokálnímu snížení hladiny podzemní vody (Obr. 7.). Obsyp kanalizačního potrubí vytváří heterogenní prostředí – parametry prostředí jsou odlišné. Při průtoku vody do vrstvy s jinou hydraulickou vodivostí také dochází k lomu směru proudění (Schwartz & Zhang, 2003).



Obr. 7. Snížení hladiny podzemní vody způsobené drenáží obsypovými vrstvami.

4. PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY V HORNINOVÉM PROSTŘEDÍ

Směr proudění podzemní vody závisí na potenciálovém poli, anizotropii hydraulické vodivosti a natočení os propustnosti vůči hydraulickému gradientu. V izotropním prostředí je hodnota hydraulické vodivosti ve všech směrech stejná a voda proudí do míst s nižším hydraulickým potenciálem (Fetter, 2001).

Pokud je zvodněň napjatá, lze pro výpočty použít **Darcyho zákon**:

$$\frac{Q}{A} = k \frac{(h_1 - h_2)}{\Delta l} \quad (3.2)$$

kde Q je průtok [m^3/s]

A je průtočná plocha [m^2]

k je hydraulická vodivost [m/s]

h_1, h_2 je piezometrická výška na začátku a konci úseku [m]

Δl je délka úseku [m]

Předpokladem je konstantní **hydraulický gradient** i – lineární pokles hydraulické výšky.

$$i = \frac{(h_1 - h_2)}{\Delta l} = -\frac{dh}{dl} \quad (3.3)$$

Ve volné zvodni u regionálního proudění však není hydraulický gradient konstantní. Tento problém řeší **Dupuitův předpoklad**, který zjednodušuje řešení obecné rovnice proudění podzemní vody. Bere v úvahu změnu hydraulického gradientu a předpokládá, že se hydraulický gradient rovná sklonu hladiny podzemní vody (Fetter, 2001). Na základě Dupuitova předpokladu zanedbáváme svislé složky proudění a ekvipotenciálové plochy jsou svislé. Lze použít pro regionální proudění u mělkých zvodní, kdy je prosakovaná oblast po výšce zhruba homogenní. Při tomto zjednodušení můžeme při výpočtu dosahovat dostačující přesnosti (Kazda, 1997).

Dupuitův předpoklad:

$$q' = \frac{1}{2} k \left(\frac{h_1^2 - h_2^2}{L} \right) \quad (3.4)$$

kde q' je specifický průtok [m^2/s]

k je hydraulická vodivost [m/s]

h_1, h_2 je piezometrická výška na začátku a konci úseku [m]

L je délka úseku [m]

4.1 Proudění v nesaturované zóně

Nesaturovaná zóna je část horninového tělesa, ve které nejsou póry zcela vyplněny vodou. Je zde obsažena voda obalová, kapilární a gravitační. Vyjádřením množství vody v hornině je **vlhkost** θ , která je definována jako poměr objemu vody k celkovému objemu horniny. Také můžeme vyjádřit zaplnění pórů vodou – **saturoace** s , což je poměr objemu vody k objemu pórů a může nabývat hodnot 0 (póry neobsahují žádnou vodu) až 1 (póry zcela vyplněny vodou).

Celkový vlhkostní potenciál ϕ definuje infiltraci v nesaturované zóně, je součtem kapilárního tlaku (tlakový potenciál) a gravitačního potenciálu. **Kapilární tlak** ψ je funkcí vlhkosti, u nesaturovaných hornin nabývá záporných hodnot. Je způsoben přitažlivými silami v hornině.

Pro výpočet proudění v nesaturované zóně platí také Darcyho zákon, ale musí být použit koeficient hydraulické vodivosti pro nesaturovanou zónu, který není konstantní. Je funkcí vlhkosti – s rostoucí vlhkostí roste hydraulická vodivost.

5. VLASTNOSTI HORNIN

5.1 Propustnost hornin

Voda k průtoku horninami využívá volných prostor. Podle druhu protékáných prostor se propustnost dělí na tři základní typy – propustnost průlinová, puklinová a krasová.

Průlinovou propustnost mají porézní horniny, převážně se jedná o sedimentární horniny. Průliny neboli póry jsou soustavami dutin, které vznikly současně s horninou.

V případě **puklinové propustnosti** voda proudí po plochách diskontinuit hornin. Tyto plochy vznikají později, převážně tříštivou tektonikou. Patří sem pukliny, trhliny, zlomy, příčná břidličnatost a další. Vznikají systémy propustnosti v různých směrech, které jsou odlišně propustné. Propustnost podél vrstevních spár pevných sedimentů patří také mezi puklinovou propustnost. Průlinová a puklinová propustnost mohou působit současně. Pohyblivost vody bývá lepší v síti puklin než v pórech (Hynie, 1961).

Krasová propustnost vzniká prouděním vody puklinami v rozpustných horninách, jako například vápence a dolomity. Rozpouštěním těchto hornin se utvářejí krasové dutiny až jeskyně, které voda dále využívá ke svému pohybu.

Pokud má horninové těleso výrazně menší propustnost než jeho okolí, můžeme ho označit jako **izolátor**, pokud má propustnost větší než okolní horniny označujeme jej jako **kolektor**.

5.2 Pórovitost hornin

Celková pórovitost n_T je procentuální vyjádření obsahu dutin v hornině.

$$n = \frac{V_v}{V_T} = \frac{V_T - V_s}{V_T} \quad (5.1)$$

kde V_v je objem pórů

V_T je celkový objem horniny

V_s je objem zrn

Orientační hodnoty pórovitosti pro nezpevněné a zpevněné sedimentární horniny jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1. *Rozpětí hodnot pórovitosti (podle Schwartz & Zhang, 2003)*

Materiál	Pórovitost [%]
šterk hrubě zrnitý	24-36
šterk jemně zrnitý	25-38
písek hrubě zrnitý	31-46
písek jemně zrnitý	26-53
prach	34-61
jíl	34-60
pískovec	5-30
prachovec	21-41
vápenec, dolomit	0-40
břidlice	0-10

Můžeme také definovat **číslo pórovitosti** e , které vyjadřuje poměr objemu pórů k objemu zrn.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (5.2)$$

kde V_v je objem pórů

V_s je objem zrn

Některé póry jsou menší než molekuly vody, nebo nejsou propojeny, proto v nich není proudění umožněno. **Efektivní pórovitost** n_e vyjadřuje procentuální zastoupení pouze dutin, ve kterých může voda proudit.

Drenážní pórovitost S_y je poměr objemu vody, která může být odvedena v důsledku drenáže gravitací k celkovému objemu horniny. Procento objemu vody zadržené v hornině se nazývá **retenční kapacita** S_r . Součet drenážní pórovitosti a retenční kapacity dává celkovou pórovitost. (Fetter, 2001)

$$n = S_y + S_r \quad (5.3)$$

5.3 Hydraulická vodivost a koeficient propustnosti hornin

Hydraulická vodivost k je koeficient charakterizující schopnost hornin propouštět vodu. Je závislá na prostředí i kapalině.

$$k = \frac{-Q}{A \left(\frac{dh}{dL} \right)} \quad (5.4)$$

kde k je hydraulická vodivost [m/s]

Q je průtok [m^3/s]

A je průtočná plocha [m^2]

dh je změna piezometrické výšky

dL je změna vzdálenosti

Na základě pokusů jde stanovit hydraulickou vodivost pro určité druhy hornin. Její orientační hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2. *Typické hodnoty hydraulické vodivosti (podle Schwartz & Zhang, 2003).*

Materiál	Hydraulická vodivost [m/s]
štěrk	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
písek hrubě zrnitý	$9 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-3}$
písek středně zrnitý	$9 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4}$
písek jemně zrnitý	$2 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-4}$
prach, spraš	$1 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-5}$
jíl	$1 \times 10^{-11} - 4,7 \times 10^{-9}$
krasový vápenec	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-2}$
vápenec, dolomit	$1 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-6}$
pískovec	$3 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-6}$
břidlice	$1 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$

Vlastností charakterizující jen horninové prostředí je **koeficient propustnosti K** .

$$k = \frac{K\rho g}{\mu} \quad (5.5)$$

kde k je hydraulická vodivost [m/s]

K je koeficient propustnosti [D, m²]

ρ je hustota kapaliny [kg/m³]

g je tíhové zrychlení [m/s²]

μ je dynamická viskozita kapaliny [kg/(m*s)]

Pro koeficient propustnosti bývá používána jednotka **Darcy D** , 1D odpovídá zhruba $9,87 \times 10^{-7} \text{ m}^2$.

6. MATEMATICKÉ MODELY

Pro matematické modelování proudění podzemních vod je nejvíce využívány numerické metody založené na parciálních diferenciálních rovnicích – starší a jednodušší **metoda konečných diferencí** a přesnější, ale složitější **metoda konečných prvků**. Používané programy shrnul ve své práci Baier (2007).

GMS (Groundwater Modeling System) podporuje jak metodu konečných prvků, tak metodu konečných diferencí ve 2D i 3D zobrazení a představuje sadu nástrojů pro každou fázi simulace proudění podzemních vod.

FEFLOW je jeden z nejpropracovanějších souborů programů pro modelování proudění podzemní vody. Je založený na metodě konečných prvků. Obsahuje interaktivní grafické rozhraní, nástroje pro regionalizaci dat a účinné numerické techniky.

SWMS_3D je program pro simulaci pohybu vody v 3D proměnném saturovaném prostředí.

Modflow surfact je souhrnný nástroj pro trojrozměrné modelování založené na metodě konečných diferencí. Pro tento nástroj byly dále zpracovány další výpočetní moduly. Je podporován ve dvou grafických rozhraních – profesionální Visual Modflow Pro a Groundwater Vistas s lepším designem a obsáhlejšími grafickými analytickými nástroji.

PMWIN (Processing Modflow Pro) patří k programům, jejichž starší verze jsou volně ke stažení z internetových stránek. Vychází z verze MODFLOW vyvíjené od sedmdesátých let.

7. CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Obec Tvarožná leží asi 10 km v. od Brna. Zájmová lokalita je v západní části obce, na pravém břehu Tvaroženského potoka (Obr. 8.).

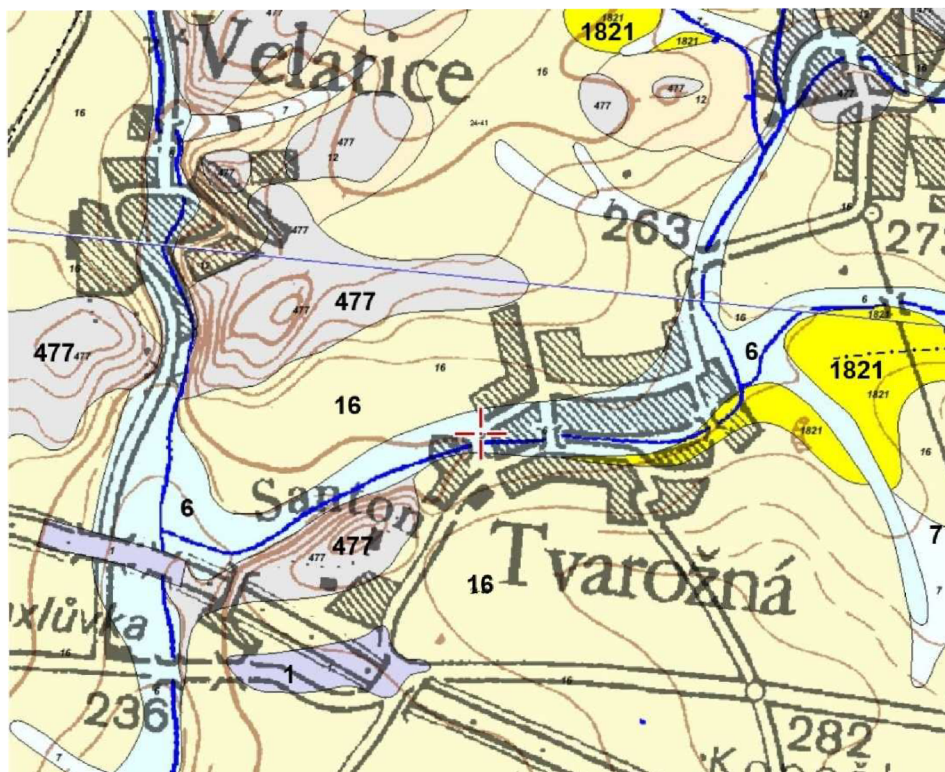


Obr. 8. Zájmové území (mapy.cz, upraveno).

7.1 Geologické poměry

Zájmové území z geologického hlediska náleží k vnější části Západních Karpat. Leží nedaleko hranice s Českým Masivem, který se v těchto místech noří pod sedimenty jižní části karpatské předhlubně. Podloží je tvořeno neogenními sedimenty, stáří sp. baden, na něž nasedají kvartérní sprače a fluviální sedimenty (Obr. 9.).

Výskyty kulmu Drahanské vrchoviny leží v okruhu 1 km od lokality, u obce Velatice a na vrcholu Santon. Jedná se o droby a račické slepence myslejovického souvrství.



Legenda:

PALEOZOIKUM

KARBON

477 slepenec

KENOZOIKUM

KVARTÉR

1 navážka, halda, výsypka, odval

6 nivní sediment

7 smíšený sediment

12 písčito-hlinitý až hlinito-písčité sediment

16 spraš a sprašová hlína

NEOGEN

1821 vápnitý jíl (těgl), místy s polohami písků

Obr. 9. Výřez z geologické mapy 1:50 000 s vyznačenou lokalitou (ČGS, 2013).

7.1.1 Geologický vývoj okolí

Karpatská předhlubeň je součástí periferních alpsko-karpatských pánví v předpolí flyšových jednotek. Zahrnuje soustavu miocenních pánví, které byly v souvislosti s potupujícími příkrovy Karpat přesouvány na prohýbající se okraj Českého masivu.

První fáze spodnobadenské transgrese byla omezena na tzv. ústřední spodnobadenskou depresi. Po krátké regresní epizodě výrazně pokleslo celé předpolí Českého Masivu a zaplavená oblast se rozšířila směrem k západu. Došlo také ke zvednutí mořské hladiny. Došlo k zaplavení části území Dražanské vrchoviny. V druhé fázi se uložily hlavně šedo-zelené a hnědo-zelené nevrstevnaté jíly – „tégly“. Jedná se o mořské uloženiny hemipelagického typu s bohatou mikrofaunou foraminifer, radiolárií, živočišných hub, ostrakodů, ježovek a kostnatých ryb. V závislosti na reliéfu se vytvořily i málo mocné řasové a mechovkové vápence a vápnité pískovce. Sedimentace v jižní části karpatské předhlubně byla ukončena výzdvihem území na konci sp. badenu.

V době pleistocénu, charakteristického cyklickými klimatickými změnami, docházelo na území k ukládání eolických a fluviálních sedimentů. Spráše se tvořily v období glaciálů. Jedná se o prachová zrnka křemene, živců a slíd o zrnitosti zhruba 0,01-0,05 mm a obsahem CaCO_3 . Vyznačují se nevrstevnatostí a svislou odlučností. Fluviální sedimenty se ukládaly zejména v počátečních a koncových stádiích dob ledových. (Chlupáč, 2002)

8. LITERATURA

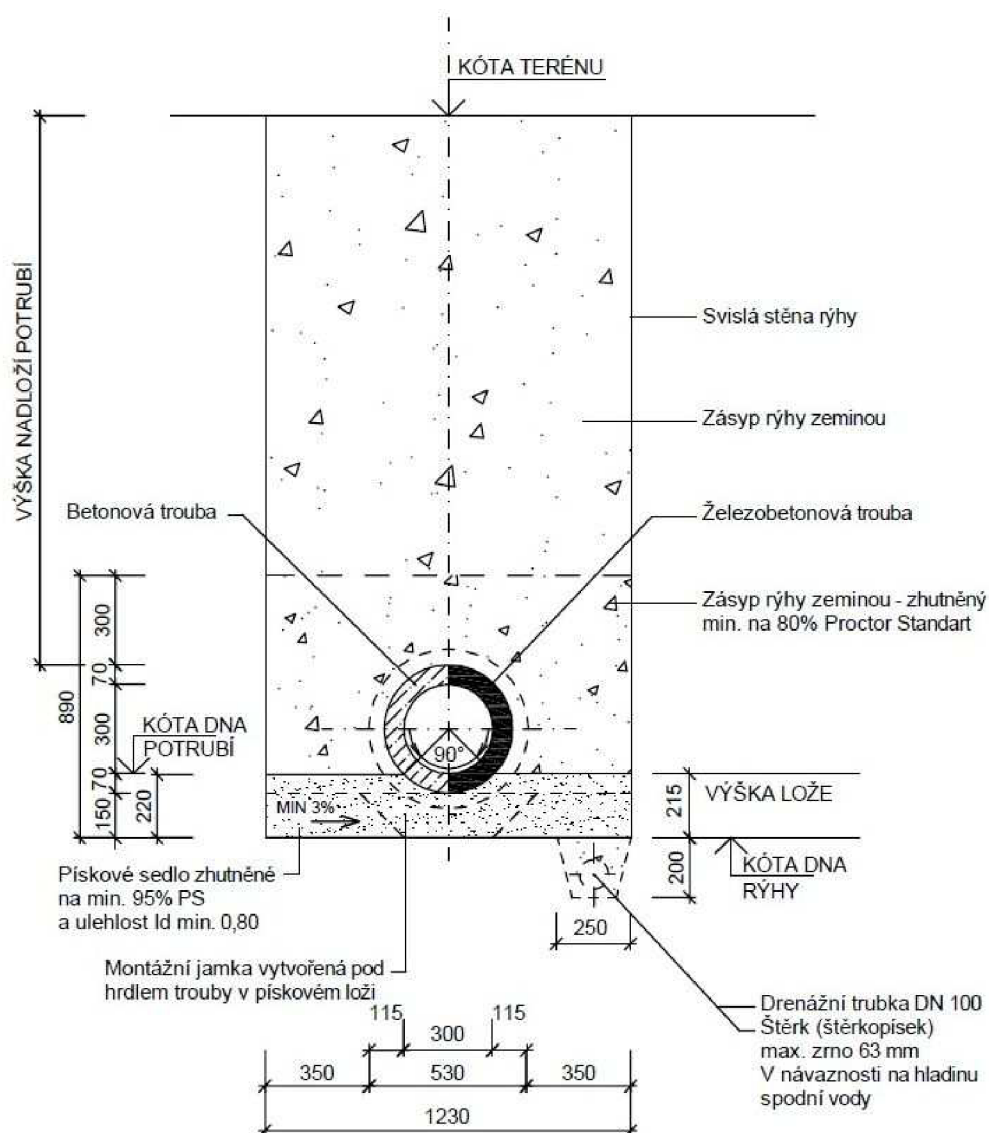
- Baier, J. (2007): Využití matematického modelování při hodnocení ekologických škod na podzemních vodách (na příkladu vybrané rafinérské společnosti). – MS, diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. – On-line: <http://www.kvhem.cz/wp-content/uploads/2008/02/baier.pdf>, dne 5. 11. 2012.
- Boukhemacha, M. A., Diaconescu, A., Bica, I., Gogu, C. R. & Gaitanaru, D. (2012): Quantitative assessment of the groundwater-sewer network interaction in Bucharest city (Romania). – Geophysical Research Abstracts, 2012, (14): EGU2012-10464. EGU General Assembly 2012.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J. & Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia. Praha. ISBN 80-200-0914-0.
- ČGS (2013). Česká geologická služba: lokalizační a mapová aplikace. On-line: http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=586587&x=1162390&r=1500&s=1&legselect=0, dne 15. 9 2013.
- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.
- ČSN EN 13508-2 Posuzování stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek.
- ČSN EN 1610 Provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení.
- ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov.
- TNV 75 0211 Navrhování vodovodního a kanalizačního potrubí uloženého v zemi – Statický výpočet.
- TNV 75 6011 Ochrana prostředí kolem kanalizačních zařízení.

- Ellis, J. B. (2001): Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality. – Urban Pollution Research Centre, Middlesex University, Bounds Green Road, London.
- Fetter, C. W. (2001): Applied Hydrogeology. – Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. ISBN 0-13-088239-9.
- Hlavínek, P., Mičín, J. & Prax, P. (2001): Příručka stokování a čištění. – NOEL 2000. Brno.
- Hynie, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR. I, Prosté vody. – Nakladatelství Československé akademie věd. Praha.
- Karpf, Ch. & Krebs, P. (2011): Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach. – Water Research, 2011, (45): 3129-3136.
- Kazda, I. (1997): Podzemní hydraulika v ekologických a inženýrských aplikacích. – Academia. Praha. ISBN 80-200-0608-7.
- Novák, J. a kolektiv autorů (2003): Příručka provozovatele stokové sítě. – SOVAK. Praha.
- Prefa Brno a.s. (2012): Vzorové listy uložení. – On-line: <http://www.prefa.cz/content/vzorove-listy-ulozeni>, dne 5. 11. 2012.
- Raclavský, J., Tuhovčák, L. & Malaník, S. (2006): Rekonstrukce vodohospodářských sítí (studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia). – VUT v Brně, fakulta stavební. Brno.
- Rutsch, M., Rieckermann, J., Cullmann, J., Ellis, J. B., Vollertsen, J. & Kerbs, P. (2008): Towards a better understanding of sewer exfiltration. – Water Research, 2008, (42): 2385-2394.
- Schwartz, F. W. & Zhang, H. (2003): Fundamentals of Ground Water. – John Wiley & Sons. New York. ISBN 0-471-13785-5.

WAVIN OSMA s.r.o. (2011): KG-System (PVC) – Katalog výrobků a montážní předpis. – On-line: www.wavin-osma.cz/?download=/_katalogy/osma_katalog_kg.pdf, 20. 2. 2013.

9. PŘÍLOHY

Příloha 1. Vzorové uložení betonového nebo železobetonového potrubí PREFA BRNO DN 300 do pískového sedla, $\alpha = 90^\circ$, svislá rýha.



Příloha 2. Vzorové uložení betonového nebo železobetonového potrubí PREFA BRNO DN 1200 do pískového sedla, $\alpha = 90^\circ$, svislá rýha.

