

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Odvodnění stavebních jam
Drainage of foundation pits

Student:

Tomáš Pospíšil

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Pospíšil**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Odvodnění stavebních jam
Drainage of Foundation Pits**

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Úvod (předtím abstrakt (česky, anglicky), definice řešené problematiky)
2. Vývoj odvodňovacích postupů stavebních jam (povrchové, hlubinné)
3. Teoretické výpočty přítoku do stavebních jam dle koeficientu propustnosti jako nástroj pro návrh a dimenzaci odvodnění
4. Aplikace na příkladu stavební jámy s možností automatizace návrhu v programu Excel
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] LAHUTA, Hynek. Doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta - Informační stránka [online]. 2005, poslední revize 25.5.2010. Dostupné z: <www.fast.vsb.cz/lahuta>
- [2] ČSN EN 1997-1 : 2006. Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla. Praha: Český normalizační institut, 2006. 138 s.
- [3] ČSN EN 1997-2 : 2008. Eurokód 7 - Navrhování geotechnických konstrukcí – část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy. Praha: Český normalizační institut, 2008. 152 s.
- [4] KOVÁŘÍK, K., SITÁNYIOVÁ, D., DRUSA, M.: Hydraulika a hydrologia. Žilina, SK: Vydavateľství ŽU Žilina. 2003. 260 s. ISBN 80-8070-037-0.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Hynek Lahuta**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014




doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Hynka Lahuty a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Dr. Ing. Hynku Lahutovi a Doc. Ing. Arnoštu Grmelovi, CSc za odborné vedení, cenné rady, konzultace a čas, který mi věnovali při tvorbě této práce.

Abstrakt

Odvodňování stavebních jam je jednou z nedílných součástí nutných opatření před samotným započítáním stavebního díla. Pomocí odvodňovacích systémů chráníme jámu nejen před povrchovou, ale také podzemní vodou. Tato práce popisuje typy odvodňovacích postupů a jejich využití na základě plošných rozměrů, parametrů zeminy a hloubce podzemní vody.

Cílem této bakalářské práce je za pomoci teoretických výpočtů stanovit přítok vody do stavební jámy na základě koeficientu filtrace. Následuje návrh a dimenzace odvodňovacího systému. Dále je tento postup zautomatizovaný v programu MS Excel.

Klíčová slova: odvodňování, stavební jáma, koeficient filtrace

Abstract

Drainage of foundation pits is one of the integral components necessary measures prior to the commencement of the works. With drainage systems we protect pit not only from the surface but also underground water. This thesis describes the types of drainage procedures and their use on the basis of surface dimensions, soil parameters and depth of groundwater.

The aim of this thesis is by using theoretical calculations to determine the inflow of water into the foundation pit on the basis of the rate of filtration. Subsequent design and dimensioning of the drainage system. It further automate this procedure and create it in MS Excel.

Key words: drainage, foundation pits, filtration coefficient

Obsah bakalářské práce:

Seznam použitého značení:	3
1. Úvod	5
2. Vývoj odvodňovacích postupů stavebních jam	6
2.1 Koeficient filtrace	6
2.1.1 Metody určení koeficientu filtrace	7
2.2 Povrchové odvodnění	7
2.2.1 Půdorysné a řezové schémata	7
2.2.2 Části povrchového odvodnění	9
2.2.3 Technologický postup povrchového odvodnění	10
2.3 Hlubinné odvodňování	12
2.3.1 Metody hlubinného odvodnění	12
2.3.2 Hloubkové odvodnění vrtanými studněmi	12
2.3.3 Hloubkové odvodnění čerpacími jehlami	14
2.3.4 Hloubkové odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy	17
3. Teoretické výpočty přítoku do stavební jámy dle koeficientu filtrace	18
3.1 Povrchové odvodnění	18
3.1.1 Zadané parametry	19
3.1.2 Návrh sklonu a půdorysné rozměry	19
3.1.3 Náhradní poloměr	20
3.1.4 Dopočtení údajů	20
3.1.5 Dosah snížení hladiny	20
3.1.6 Stanovení přítoku do stavební jámy	20
3.1.7 Návrh odvodňovacího rigolu	21
4. Aplikace na příkladu stavební jámy	24
4.1 Výpočet povrchového odvodnění	24
4.1.1 Zadané parametry	24

4.1.2	Návrh sklonu a půdorysné rozměry	25
4.1.3	Náhradní poloměr	25
4.1.4	Dopočtení údajů	25
4.1.5	Dosah snížení hladiny	26
4.1.6	Stanovení přítoku do stavební jámy	26
4.1.7	Návrh odvodňovacího rigolu	26
4.1.8	Závěr příkladu	29
5.	Závěr	32
6.	Seznam obrázků, tabulek a příloh	33
7.	Seznam použité literatury	34

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ:

Písmena latinské abecedy

A	Půdorysná plocha stavební jámy vymezená průnikem svahů s původní hladinou podzemní vody	[m ²]
a	Délka boční stěny rigolu	[m]
B	Šířka dna stavební jámy	[m]
b	Šířka spodní části rigolu	[m]
B _v	Šířka stavební jámy vymezená průnikem původní hladiny podzemní vody	[m]
c	Šířka horní části rigolu	[m]
c	Rychlostní součinitel vyjadřující odpor a tření	[-]
D	Průměr zrn filtračního obsypu	[mm]
d	Průměr zrn odvodňovací zeminy	[mm]
H	Výška hladiny ve zvodněné vrstvě	[m]
HPV	Hladina podzemní vody	[m]
h	Výška rigolu	[m]
h	Hloubka propustné vrstvy	[m]
h _o	Výška hladiny vody pod dnem jámy	[m]
h _j	Hloubka stavební jámy	[m]
I	Hydraulický spád	[-]
k	Koeficient filtrace	[m/s]
L	Délka dna stavební jámy	[m]
L _v	Délka stavební jámy vymezená průnikem původní hladiny podzemní vody	[m]
n	Součinitel drsnosti stěn	[-]
n _k	Charakter stěn dle Kuttera	[-]
O	Omočený obvod rigolu	[m]
R	Dosažení snížení hladiny	[m]
R	Hydraulický poloměr	[m]
r _s	Náhradní poloměr	[m]
S _{pr}	Průtočná plocha rigolu	[m ²]
Q	Celkový přítok do stavební jámy	[m ³ /s; l/s]

Q_1	Přítok stěnami jámy	$[\text{m}^3/\text{s}; \text{l/s}]$
Q_2	Přítok dnem jámy	$[\text{m}^3/\text{s}; \text{l/s}]$
Q_d	Kapacita rýhy	$[\text{m}^3/\text{s}; \text{l/s}]$
$v_{\text{stř}}$	Střední rychlost průtoku	$[\text{m/s}]$

Písmena řecké abecedy

α	Sklon suché části stavební jámy	$[\text{°}]$
γ_n	Součinitel stupně bezpečnosti pro suchou zeminu	$[-]$
φ	Úhel vnitřního tření	$[\text{°}]$

1. ÚVOD

Stavební jámu je nutno odvodnit při výskytu podzemní vody nad úrovní předpokládaného dna stavební jámy, obzvláště při větších stavbách je to jedna z nevyhnutelných částí prováděných stavebních činností, která bývá mnohdy podceňovaná. Při samotném odvodňování stavebních jam odvádíme jak povrchovou, tak i podzemní vodu.

Podzemní voda je nežádoucí faktor, který nám zhoršuje mechanické a fyzické vlastnosti zeminy. Zejména úhel vnitřního tření, stabilitu a únosnost dna jámy pro budoucí spodní část stavby. Také se zvyšují nároky na hydroizolaci a základovou konstrukci, aby nedocházelo k průsakům do vnitřních suterénních prostorů.

O způsobu odvodnění rozhoduje zejména druh zeminy, s tím spjat koeficient filtrace a hloubka stavební jámy pod úrovní hladiny podzemní vody. Dále také půdorysná plocha a geometrické uspořádání jámy. Správně zvolený odvodňovací postup může snížit ekonomické náklady a celkovou dobu prováděných stavebních úkonů.

Odvodňování se může provádět povrchově nebo hloubkově. Popřípadě zamezením přítoku podzemní vody pomocí utěsnění stavební jámy.

2. VÝVOJ ODVODŇOVACÍCH POSTUPŮ STAVEBNÍCH JAM

Vývoj odvodňovacích postupů se pohyboval na zdokonalování povrchového odvodnění, později vyvinuty způsoby hlubinného odvodňování. V našich podmínkách se využívají způsoby odvodňování povrchové nebo hlubinné, které se provádí pomocí vrтанých studní nebo různých typů čerpacích jehel.

Odvodňovací postup se volí na základě hloubky stavební jámy pod hladinou podzemní vody, druhu zeminy a koeficientu filtrace, což je jedním z hlavních kritérií pro volbu odvodňovací metody.

Zemina	Čistý štěrk		Štěrkopísek			Velmi jemný písek		Písek se siltem		Silt s jílem	
	Hrubý štěrk		Štěrk a písek			jemný písek		Hlína		jíl	
D_{10} mm	6	2-6	0,5-2	0,2-0,5	0,05-0,2	0,02-0,05	0,005-0,02	0,002-0,005	0,002		
k ms^{-1}	10^{-1}		10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
klasifikace	velmi propustné		propustné			málo propustné		skoro nepropustné		nepropustné	
možnosti odvodnění	těsněná stav. jáma							electroosmóza			
rozsah použití	Povrchové do 3m		Hlubkové gravitační								
doporuč. rozsah použití						Hlubkové vakuové					
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	

Obr. 1 - Metody odvodnění stavebních jam pro typy zemín dle koeficientu filtrace [2]

2.1 Koeficient filtrace

Je to nejdůležitější charakteristika zeminy pro odvodnění. Koeficient filtrace je komplexní charakteristikou filtračních vlastností zemního prostředí a kapaliny, přičemž závisí na zrnitosti zeminy, tvaru a drsnosti povrchu zrn, pórovitosti, viskozitě a teplotě vody. [5]

2.1.1 Metody určení koeficientu filtrace

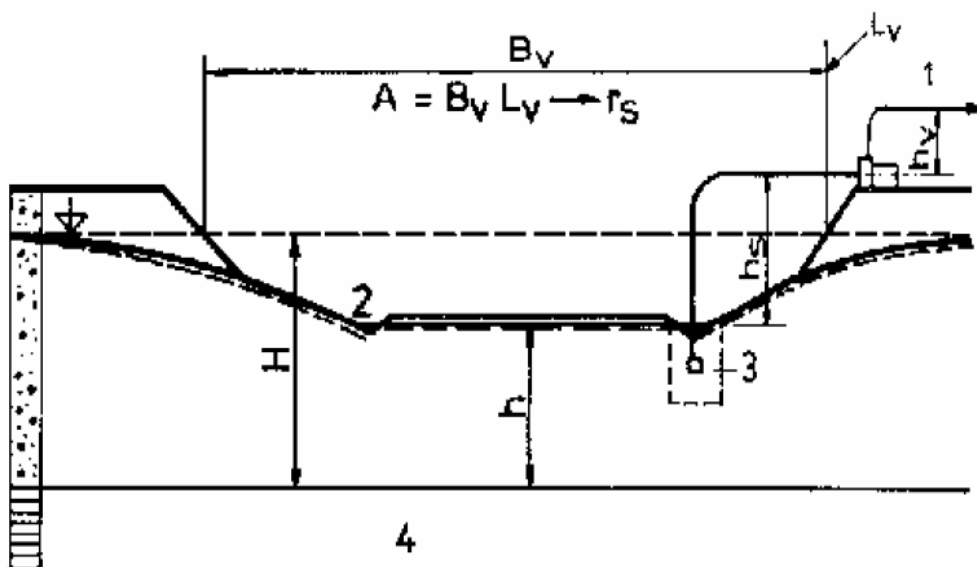
Laboratorní zkoušky:	s konstantním hydraulickým gradientem
	s proměnným hydraulickým gradientem
Polní zkoušky:	čerpací
	vsakovací
Empirické vztahy:	Hazen
	Jáky
	Casagrande
	Terzaghi

2.2 Povrchové odvodnění

Vhodné při malé hloubce a ve stabilních zeminách, kde není nebezpečí sufóze, respektive ztráty stability svahů a dna vlivem působení proudového tlaku.

Výhodné z ekonomického hlediska. Nevýhodné z hlediska požadavků na půdorysný prostor.

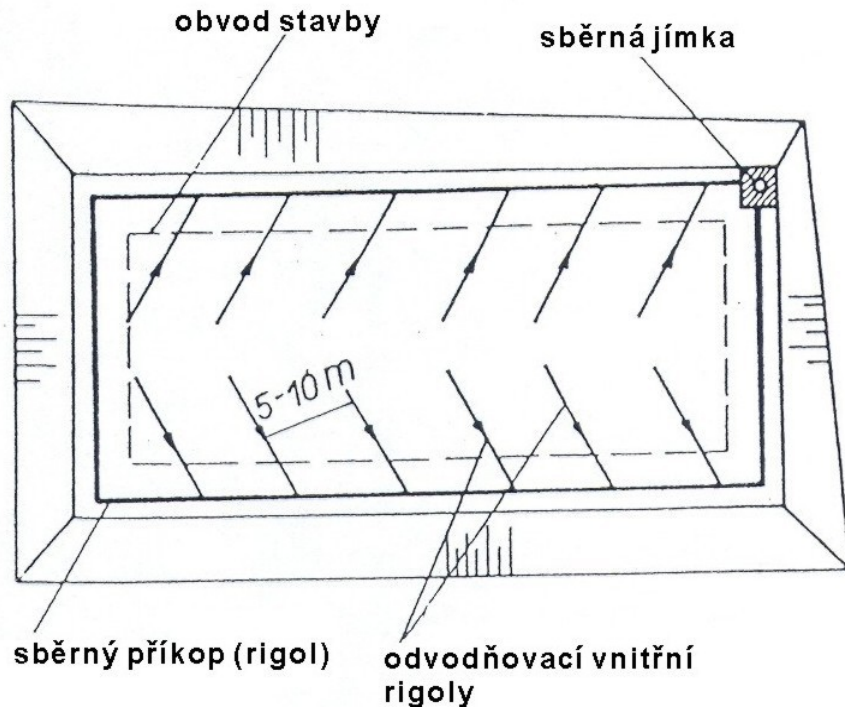
2.2.1 Půdorysné a řezové schémata



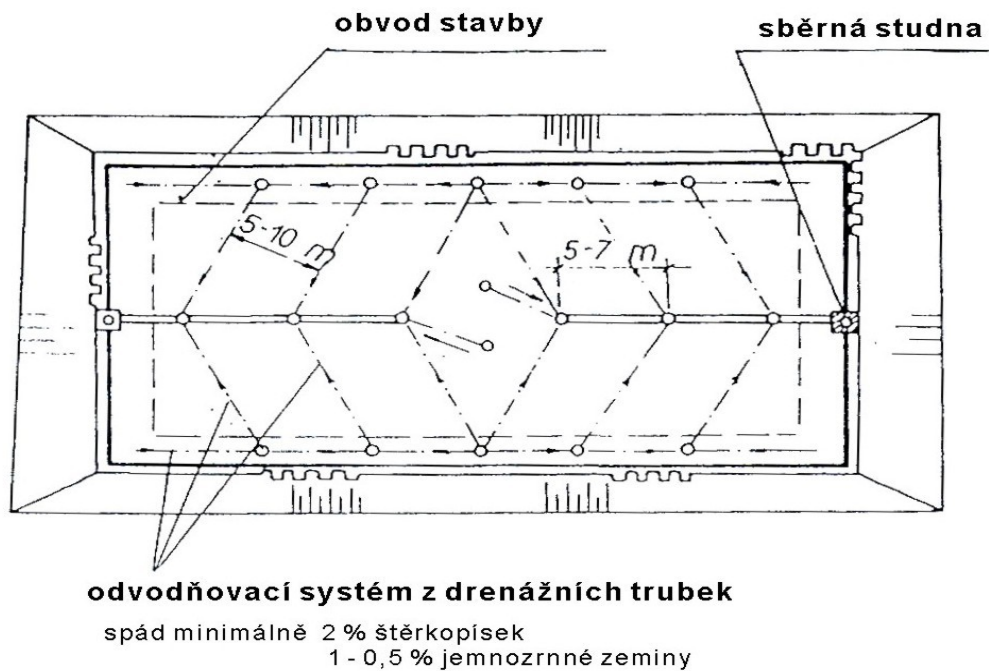
Obr. 2 - Řez povrchového odvodnění hydraulicky nedokonalé stavební jámy [8]
1 – čerpadlo, 2 – odvodňovací rigol, 3 – sběrná studna, 4 – nepropustná zemina

Pro stavby o ploše menší jak 400 m² nebo v případech menších přítoků do stavební jámy (viz Obr.3).

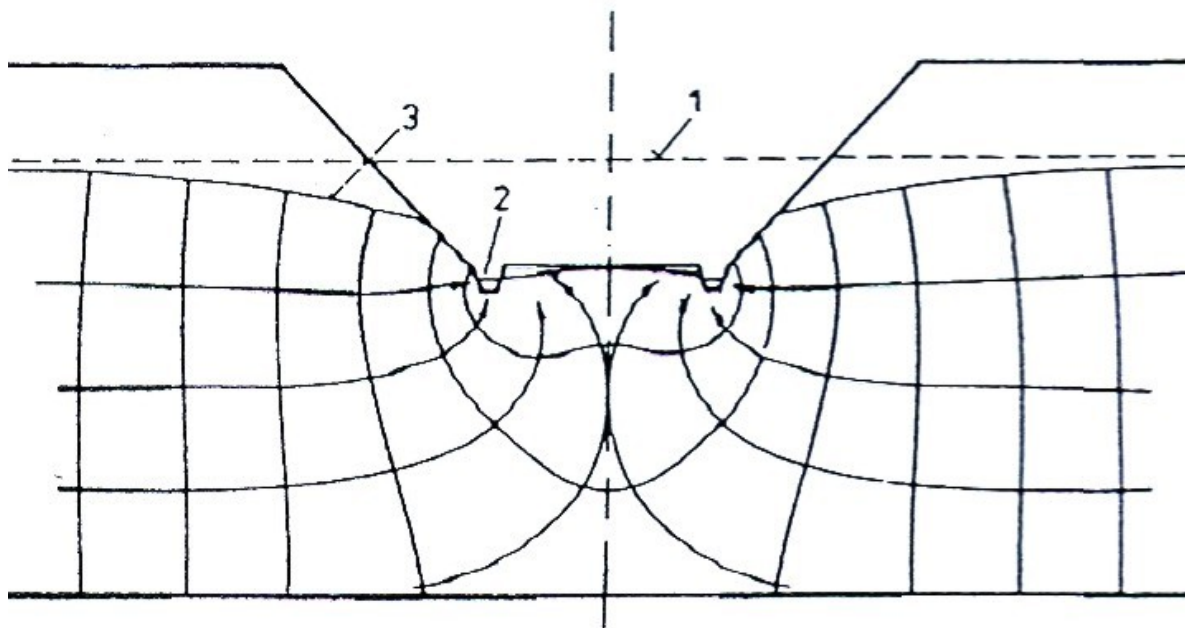
Pro stavby o ploše větší než 400 m² nebo v případech velkých přítoků do stavební jámy, kde je nutno aplikovat drenážní systém (viz Obr.4). [2]



Obr. 3 - Půdorysné schéma odvodňovacího systému stavební jámy pro plochy do 400 m² [2]



Obr. 4 - Půdorysné schéma odvodňovacího systému stavební jámy pro velké plochy [2]



Obr. 5 - Hydrodynamická síť při povrchovém odvodnění [2]

1–nesnížená hladina podzemní vody, 2–odvodňovací rigol, 3–snížená hladina podzemní vody

2.2.2 Části povrchového odvodnění

Odvodňovací rigol – Podélný sklon se pohybuje od 0,5% - 2% dle druhu zeminy. Nejčastěji lichoběžníkového příčného průřezu se sklonem bočních stěn 1:2 – 1:4. Většinou je rigol otevřený, případně s vloženou perforovanou trubkou ve štěrkopískovém obsypu.

Odvodňovací drenáž – Podélný sklon 2%. Dno stavební jámy se odvodňuje řadami drenážních trubek ve vzdálenosti 5 – 10 m. Používají se při větším přítoku dnem jámy a při velké ploše nad 400m².

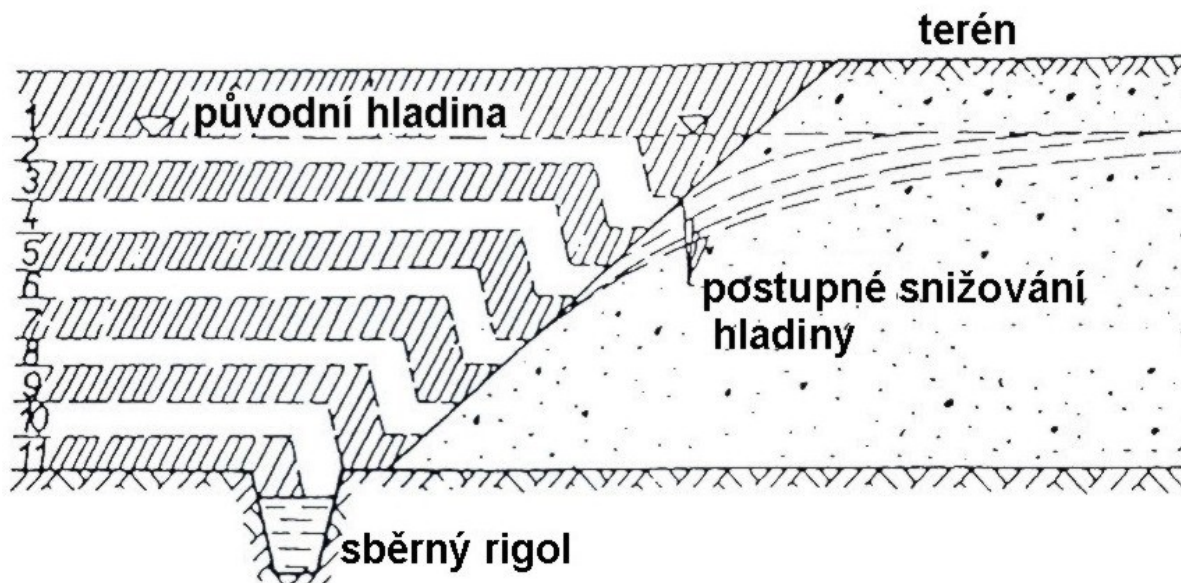
Sběrná studna – Umisťuje se mimo půdorys objektu v nejnižším místě výkopu. Spouštěná skružová o kruhovém průměru 1 – 1,5 m nebo zapažená hnaným, případně štetovým pažením o minimálních rozměrech 2 x 2 m. Mezi dnem studny a spodkem sacího koše by mělo být cca 0,5 m, povrch sacího koše má být 0,3 - 0,5 m pod hladinou vody.

Čerpadlo – návrh čerpadla je závislý na čerpaném množství vody, manometrické výšce a výkonu samotného čerpadla. Čerpadlo musí být regulovatelné a být schopno čerpat znečištěnou vodu. [1]

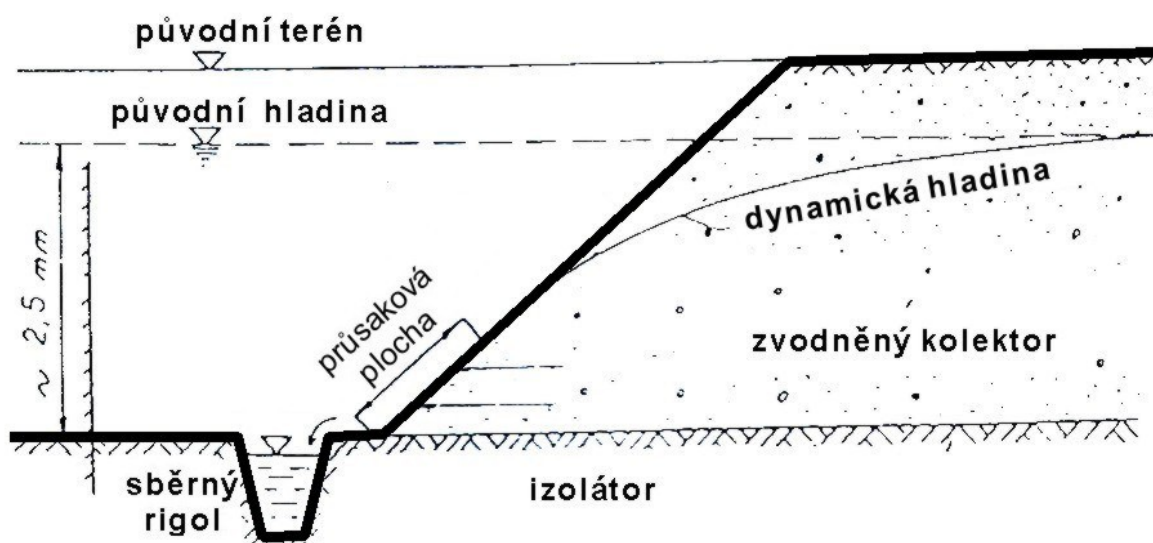
2.2.3 Technologický postup povrchového odvodnění

Povrchové odvodnění stavebních jam se provádí tak, že vodu prosakující do jámy svahy a dnem sbíráme pomocí odvodňovacích rigolů a drenáže, poté odvádíme do sběrné studně, odkud se voda odčerpává do kanalizace apod.

Půdorysný rozměr stavební jámy se musí navrhnout tak, aby byl dostatečný prostor pro odvodňovací rigoly mimo projektovaný objekt. Jáma se může kopat v suchu až po úroveň 30 – 50 cm nad momentální hladinu podzemní vody. Od této úrovně se postupuje tímto způsobem. V předstihu před výkopem, který se provádí v horizontálních vrstvách se vždy prohloubí odvodňovací rigoly po obvodě jámy tak, aby byly vždy pod úrovní dna a aby snížením hladiny umožňovali práci v jámě. Současně se také prohlubuje sběrná studna. V případech, kdy je přítokové množství vody velmi malé a nehrozí nebezpečí vyplavování jemných zrn zeminy, se může postupovat tak, že se hloubí jáma se dnem skloněným k sběrné studni a systém odvodňovacích rigolů se zrealizuje až po dosažení požadované hloubky. [1]

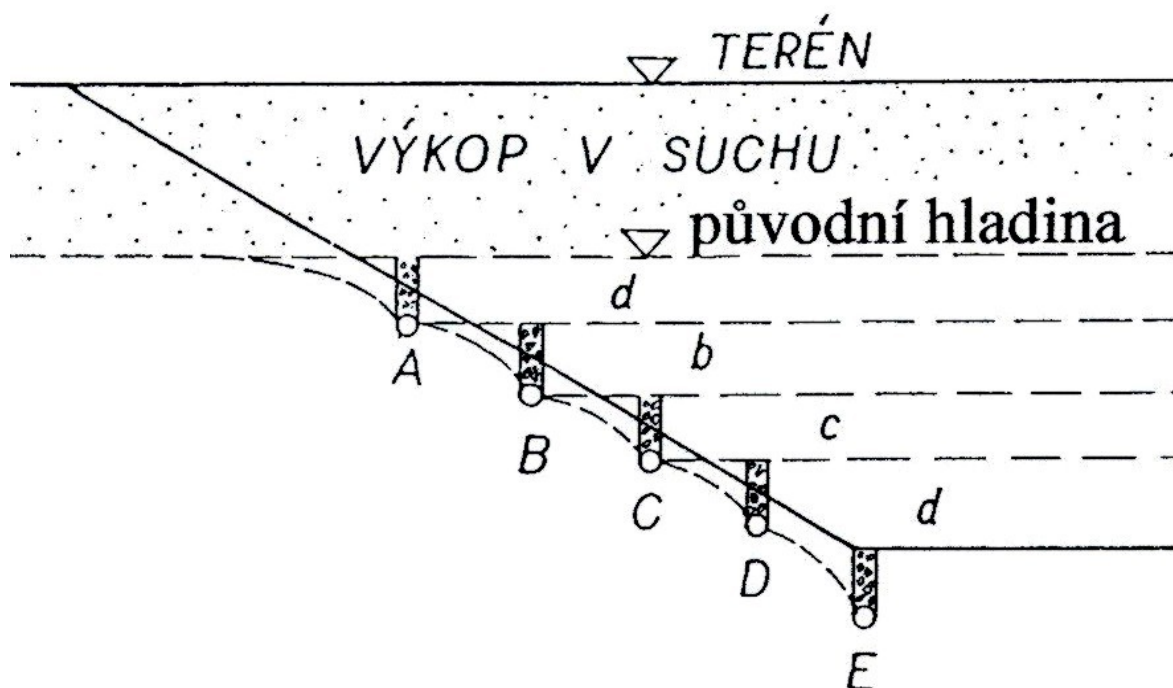


Obr. 6 - Postup výkopu a snižování hladiny [2]



Obr. 7 - Konečný stav [2]

V jemnozrných zeminách s tendencí k tečení je zapotřebí hloubit odvodňovací drény v předstihu, aby se snížila hladina vody pod úroveň odebrané vrstvy a výkop byl v suchém prostředí.



Obr. 8 - Postup výkopu a snižování hladiny pomocí horizontální drenáže [2]

Sklon svahů pod úrovní hladiny podzemní vody se uvažuje v poměru 1:3. Po ukončení základových prací se ukončí čerpání vody v případě, že váha konstrukce je natolik velká, aby vzdorovala vztlaku. Odvodňovací rigoly a drenáž se po ukončení čerpání ucpou cementovou kaší, aby nevytvářeli průsakovou dráhu. Sběrné studně se vyplní betonem nebo dostatečně zhutněným štěrkopískem bez vzduchových mezer. [1]

2.3 Hlubinné odvodňování

Hlubkové odvodňování se provádí v nesoudržných zeminách s vyšším koeficientem filtrace a při velké hloubce stavební jámy pod hladinou podzemní vody.

Je dražší než povrchové odvodnění, ale účinnější a spolehlivější. Její hlavní výhodou je, že se stavební jáma hloubí v suchém prostředí.

2.3.1 Metody hlubinného odvodnění

Vrtané studně

Čerpací jehly: gravitační
vakuové
na principu elektroosmózy

2.3.2 Hlubkové odvodnění vrtanými studněmi

Hladina podzemní vody se snižuje za pomoci po obvodě stavební jámy umístěných vrtaných studní, které se aplikují před samotným započítím hloubení stavební jámy, což nám umožňuje suchý pracovní prostor. Je zapotřebí odvodnit jámu 1 m pod dno a nesmí hladina podzemní vody procházet stěnami jámy. Obvykle se čerpadlo umísťuje do každé studně. Průměr studní se pohybuje od 150 – 600 mm. [1]

Části vrtané studně

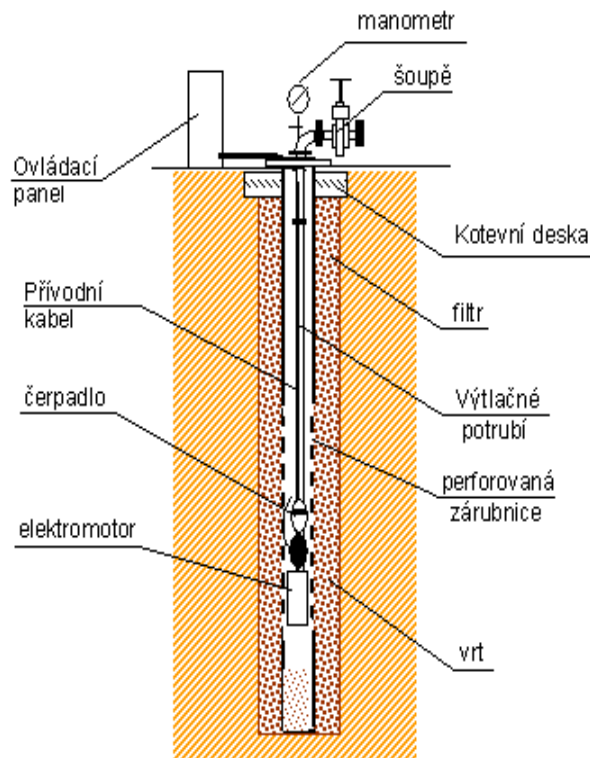
Zárubnice – Je to roura tvořící plášť studně, skládající se ze 3 částí, kterými jsou kalník, filtrační perforovaná část a nástavná část. Kalník tvoří spodní část studně sloužící k usazování jemných částic materiálů, které se dopravily do studně. Filtrační perforovanou částí proudí

voda do studně. Nastavná část se nachází nad perforovanou částí a končí nad terénem. Perforace zárubnice má být tvořena minimálně 20 % celkové plochy pláště. Tvar perforovaných otvorů se volí kruhový nebo obdélníkový v závislosti na zrnitosti filtru.

Filtr studně – Jednoduchý jednovrstvý filtrační obsyp o tloušťce 70 – 100 mm. Zrnitost materiálu obsypu vychází z podmínky: $D_{60}/d_{40} \leq 8 - 10$, přičemž číslo nestejnozrnitosti filtračního obsypu: $D_{60}/D_{10} \leq 5 - 10$. [1]

D – průměr zrn filtračního obsypu

d – průměr zrn odvodňovací zeminy



Obr. 9 - Schematický řez vrtanou studní [7]

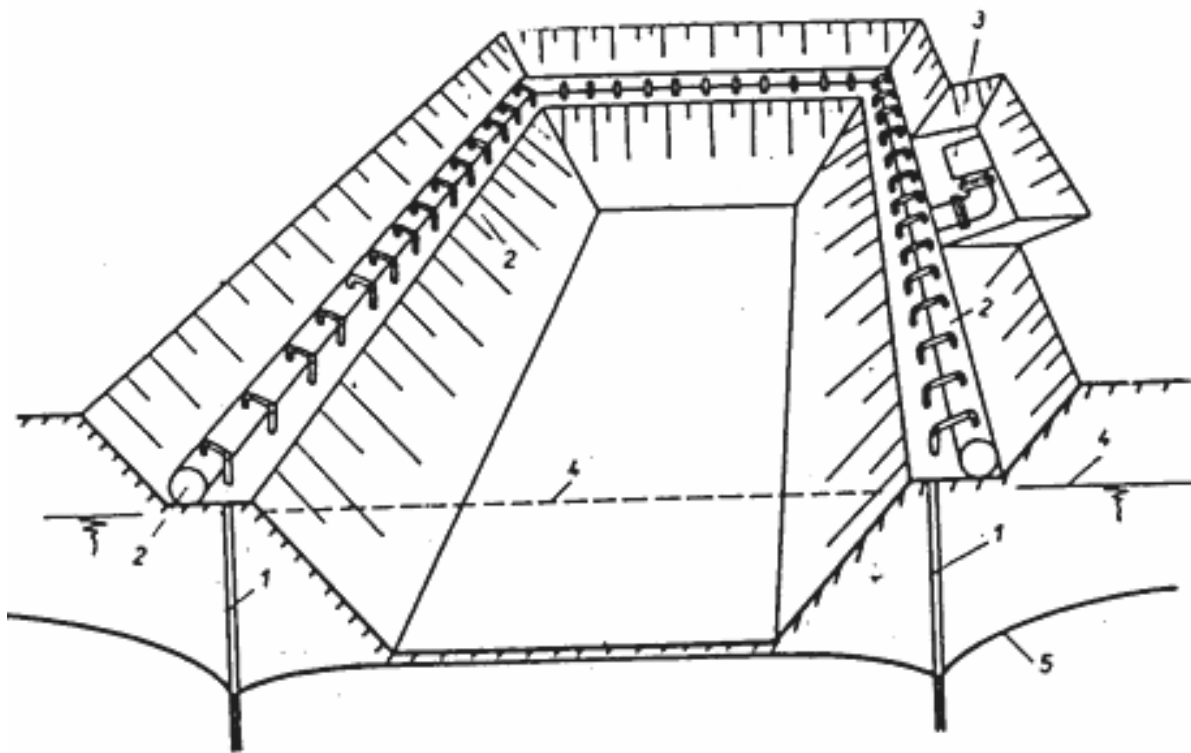
Technologický postup hloubkového odvodnění vrtanými studněmi

Nejprve vyvrtáme pod ochranou ocelové výpažnice vrt, do kterého se vloží perforovaná zárubnice menšího průměru obalená geotextilií a prostor mezi výpažnicí a zárubnicí se vyplní filtračním materiálem. Vnitřní průměr zárubnice musí být tak velký, aby do studně vešel sací koš čerpadla a zároveň byl vzdálený minimálně 10 cm od stěny. Dno studně se chrání 20 – 50 cm vrstvou filtračního materiálu, aby se vyvarovalo výplavu jemných částic do studně při realizaci čerpání. [1]

2.3.3 Hlubkové odvodnění čerpacími jehlami

Stejně jako v případě odvodňování pomocí vrtaných studní se hladina podzemní vody snižuje za pomoci po obvodě stavební jámy umístěných čerpacích jehel, které se aplikují před samotným započítím hloubení stavební jámy, což nám umožňuje suchý pracovní prostor. Je zapotřebí odvodnit jámu 1 m pod dno a nesmí hladina podzemní vody procházet stěnami jámy. Čerpací stanice je využívána pro skupiny čerpacích jehel. Odvodňovací soustava se skládá z čerpacích jehel, sběrného potrubí a čerpací stanice gravitační nebo vakuová.

Používá se v zeminách s nižším koeficientem filtrace. [1]



1 – čerpací jehla, 2 – sběrné potrubí, 3 – čerpací stanice, 4 – hpv, 5 – snížená hpv

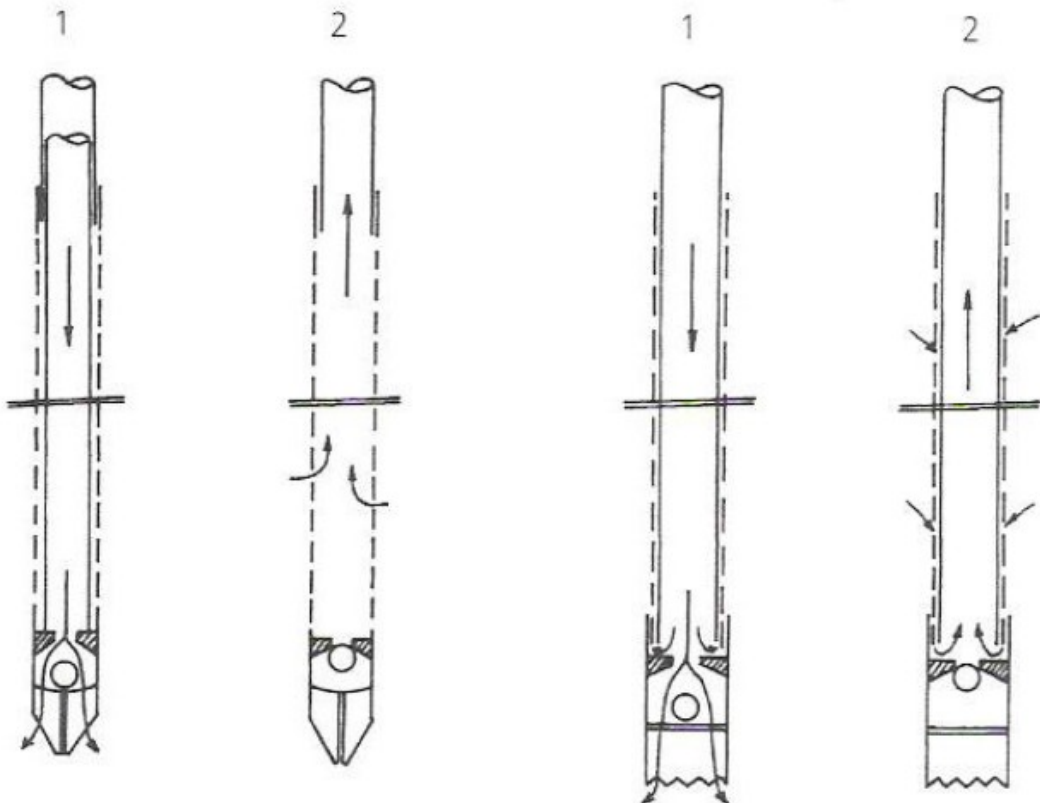
Obr. 10 - Schéma odvodňovacího systému s čerpacími jehlami [7]

Části čerpací jehly a odvodňovací soustavy

Gravitační a vakuové čerpací jehly se konstrukčně neliší.

Čerpací jehla – Celková délka jehly se pohybuje od 6 – 8 m. Zhotovena z ocelových bezešvých rour průměru 40 – 60 mm, v dolní části opatřena závitem.

Koncovka jehly – Umístěna na dolním konci jehly o délce 0,8 – 1,6 m. Je mnoho druhů koncovek dle výrobce. Základní rozdělení koncovek – jednoduchá nebo dvojitá. Koncovka slouží v 1. fázi na vypláchnutí a v 2. fázi na čerpání. Dvojitá koncovka oproti jednoduché má plnostěnnou vplachovací rouru, jako trvalou součást. Výhodou jednoduché koncovky je cena, malá poruchovost a nevýhodou náchylnost k zavzdušnění. Výhodou dvojité koncovky je odolnost vůči zavzdušnění a nevýhodou cena, možnost defektů.



Obr. 11 - Jednoduchá a dvojitá koncovka čerpacích jehel [4]

1 – fáze vplachování, 2 – fáze čerpání

Nástavec jehly – Vytváří se z ocelové roury o vnějším průměru cca 48 mm tloušťky cca 8 mm. Horní konec je opatřen vnitřním závitem pro napojení se sběrným potrubím. Délka nástavce je variabilní, upravuje se dle potřeby.

Sběrné potrubí – Na sběrné potrubí se napojují čerpací jehly. Potrubí je obvykle tvořeno ze 4 – 5 m dlouhých ocelových rour průměru 150 – 250 mm spojovaných na přírubu s gumovým těsněním. Potrubí má ve vzdálenostech cca po 600 mm nátrubky s víčky na připojení jehel, vhodnost použití dvojcestného vodovodního kohoutku. Sběrné potrubí ústí do čerpací stanice v mírném náklon nahoru do 0,5%. Osy sběrného potrubí se mají vyskytovat 0,5 – 0,6 m od osy čerpacích jehel.

Čerpací stanice – Slouží pro skupinu čerpacích jehel. Čerpací stanice je usazena na úrovni sběrného potrubí, aby nasávací výška bylo co nejmenší. Použití samonasávacích čerpadel pro větší sací výšky přesahující 3 m. U vakuového odvodnění se uplatňují čerpadla s oddělenou vývěvou. Uspořádání a provoz čerpací stanice musí zajistit dostatečný podtlak v sacím okruhu. Čerpací stanice je stabilně namontovaná na společném rámu. [1], [2]

Technologický postup hloubkového odvodnění čerpacími jehlami

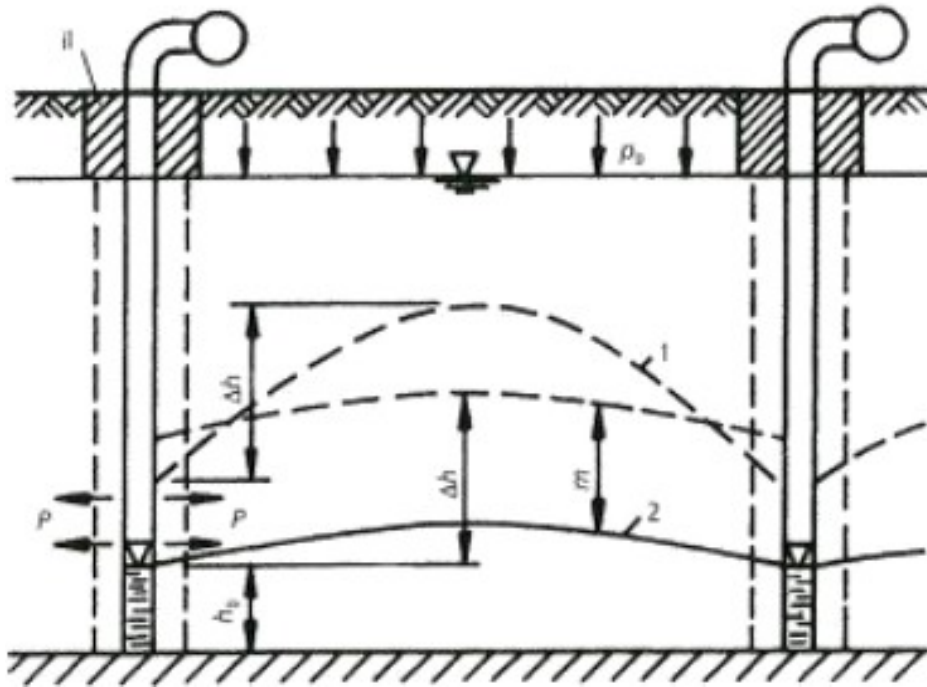
Nejprve se provedou přípravné výkopové práce, zrealizuje se svrchní odkop zeminy až na hranici úrovně podzemní vody v celém rozsahu stavební jámy. Nebo se vyhloubí rýha pro hlavní sběrač a vyplachování jehel. Tímto způsobem se zajistí optimální výškové situování čerpacího systému s minimální nasávací výškou. Sběrné potrubí se rozloží a připraví po obvodě stavební jámy. Spojování jednotlivých částí sběrného potrubí se musí provádět důkladně, aby nevznikaly netěsnosti a nedocházelo k zavzdušnění systému. Po smontování hlavního sběrače se vplachují čerpací jehly v určených vzdálenostech. V záloze by měly být k dispozici rezervní jehly cca 20% v případě defektu nebo potřebnému zvýšení rychlosti odvodnění. [1]

Čerpací jehly gravitační

Gravitační systém čerpacích jehel pracuje stejně jako systém vrtaných studní. Rozdíl spočívá v tom, že na začátku čerpání je nutno vytvořit podtlak v celé nasávací větvi čerpacího systému, aby voda doputovala až k čerpadlu. Během provádění čerpání se udržuje mírný podtlak, aby nedocházelo k zavzdušnění a přerušování čerpání. [1]

Čerpací jehly vakuové

Rozdíl mezi gravitačním a vakuovým systémem čerpacích jehel spočívá v tom, že v celém systému se udržuje stálý podtlak cca 0,5 – 0,7 kPa/cm². V případě méně propustných zemin se podtlak ještě zvýší. Vakuum zvyšuje hydraulický spád a filtrační rychlost. [1]



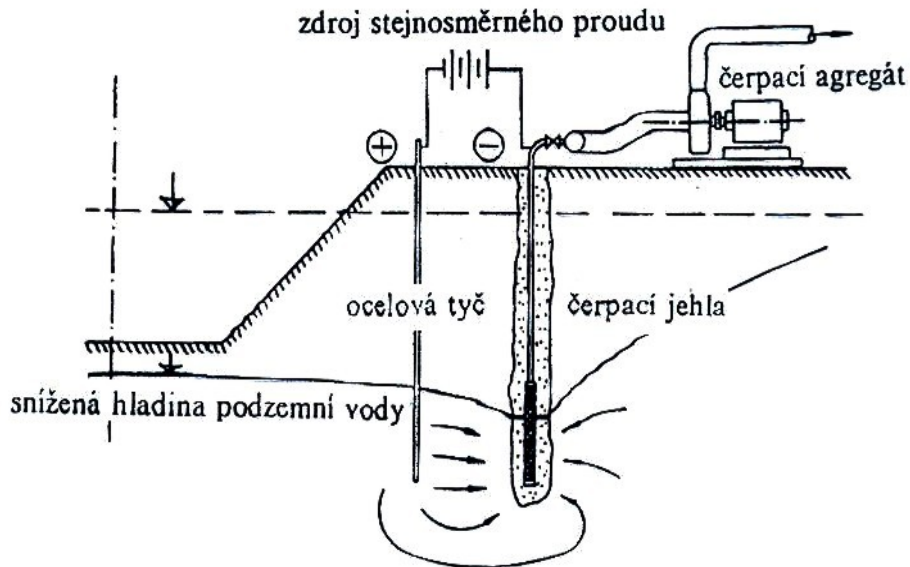
Obr. 12 - Schéma hloubkového odvodnění čerpacími jehlami [4]

1 – snížení hladiny při gravitačním odvodnění, 2 – snížení hladiny při vakuovém odvodnění

2.3.4 Hloubkové odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy

Vhodné využití tam, kde již nelze aplikovat jinou metodu. V málo propustných zvodněných zeminách.

Využívá elektroosmózy, což je fyzikální proces, v tomhle případě používaný k odvodnění zeminy. V jednotlivých vrstvách vody na stěnách kapilárních průlin probíhá vlivem stejnosměrného elektrického proudu k pohybovým aktivitám vodních částic od kladného náboje k zápornému. Kladně nabitě tyče jsou zaráženy do zeminy, záporně nabitě jsou čerpací jehly. Vlivem elektroosmózy se dosáhne snížení hladiny podzemní vody a také zpevnění zeminy. [2]



Obr. 13 - Schéma hloubkového odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy

[2]

3. TEORETICKÉ VÝPOČTY PŘÍTOKU DO STAVEBNÍ JÁMY DLE KOEFICIENTU FILTRACE

Zemina	k [m/s]
hrubozrný štěrk	1×10^{-1} až 1×10^{-3}
jemně až středně zrnitý štěrk	3×10^{-2} až 5×10^{-4}
písčitý štěrk	1×10^{-2} až 1×10^{-4}
hrubozrný písek	4×10^{-3} až 1×10^{-4}
středně zrnitý písek	1×10^{-3} až 6×10^{-5}
jemnozrnitý písek	4×10^{-4} až 6×10^{-6}
hlinitý písek, písčitá hlína	$7,5 \times 10^{-5}$ až 5×10^{-8}
hlína	5×10^{-6} až 1×10^{-10}
jílovitá hlína	4×10^{-6} až 1×10^{-10}
jíl	1×10^{-8} až 1×10^{-10}

Tab. 1 - Koeficient filtrace pro různé typy zemín

3.1 Povrchové odvodnění

Teoretický výpočet povrchového odvodnění pro svahovanou stavební jámu.

3.1.1 Zadané parametry

Hloubka propustné vrstvy – h [m]

Hloubka stavební jámy – h_j [m]

Hladina podzemní vody – HPV [m]

Úhel vnitřního tření – φ [°]

Koeficient filtrace – k [m/s]

Půdorysné rozměry dna jámy: Délka – L [m]

Šířka – B [m]

3.1.2 Návrh sklonu a půdorysné rozměry

Výpočet sklonu stavební jámy suché části α

$$tg\alpha = \frac{tg\varphi}{\gamma_n} \rightarrow \alpha [^\circ]$$

Součinitel stupně bezpečnosti pro suchou zeminu – γ_n [-]

Úhel vnitřního tření – φ [°]

V důsledku budoucího poklesu hladiny podzemní vody k mocnosti zeminy nad hladinou podzemní vody se připočte 1 m.

Pod hladinou podzemní vody bude sklon 1:3. Následné dopočtení výšky a délky svahů. Dále vypočítání půdorysných rozměrů stavební jámy vymezené průnikem svahů s původní hladinou podzemní vody.

Půdorysná plocha stavební jámy vymezená průnikem svahů s původní hladinou podzemní vody A

$$A = L_v \times B_v [m^2]$$

Délka stavební jámy vymezená průnikem původní hladiny podzemní vody – L_v [m]

Šířka stavební jámy vymezená průnikem původní hladiny podzemní vody – B_v [m]

3.1.3 Náhradní poloměr

$$r_s = \sqrt{\frac{A}{\pi}} [m]$$

Půdorysná plocha stavební jámy vymezená průnikem svahů s původní HPV – A [m²]

3.1.4 Dopočtení údajů

Výška hladiny ve zvodněné vrstvě

$$H = h - HPV [m]$$

Výška hladiny vody pod dnem jámy

Uvažuje se hloubka pod stavební jámou po snížení 0,5 m pod dnem jámy.

$$h_0 = h - h_j - 0,5 [m]$$

Hloubka propustné vrstvy – h [m]

Hloubka stavební jámy – h_j [m]

Hladina podzemní vody – HPV [m]

3.1.5 Dosah snížení hladiny

Pro volnou hladinu → Podle Kusakina

$$R = 575(H - h_0)\sqrt{k \times H} [m]$$

Koeficient filtrace – k [m/s]

Výška hladiny ve zvodněné vrstvě – H [m]

Výška hladiny vody pod dnem jámy – h₀ [m]

3.1.6 Stanovení přítoku do stavební jámy

Přítok stěnami jámy:

$$Q_1 = \frac{\pi \times k \times (H^2 - h_0^2)}{\ln \frac{R + r_s}{r_s}} [m^3/s; l/s]$$

Přítok dnem jámy:

$$Q_2 = \pi \times k \frac{2 \times (H - h_0) \times r_s}{\frac{\pi}{2} + 2 \arcsin \frac{r_s}{h_0 + \sqrt{h_0^2 + r_s^2}} + 0,515 \frac{r_s}{h_0} \ln \frac{R + r_s}{4h_0}} [m^3/s; l/s]$$

Celkový přítok do stavební jámy:

$$Q = Q_1 + Q_2 [m^3/s; l/s]$$

Koeficient filtrace – k [m/s]

Výška hladiny ve zvodněné vrstvě – H [m]

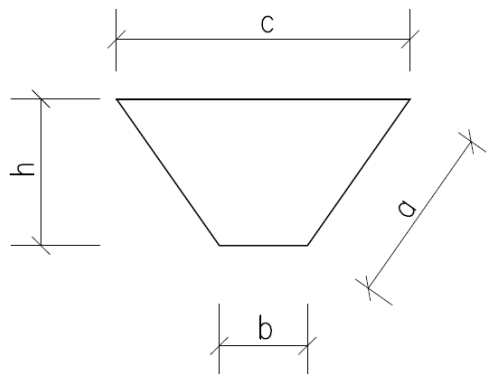
Výška hladiny vody pod dnem jámy – h_0 [m]

Náhradní poloměr – r_s [m]

Dosah snížení hladiny – R [m]

3.1.7 Návrh odvodňovacího rigolu

Použity 3 způsoby výpočtů. U všech variant se musí zvolit návrhové rozměry průřezu odvodňovacího rigolu. Poměr sklonu stěny rigolu 1:2 – 1:4.



Obr. 14 - Rozměry rigolu

Průtočná plocha rigolu

$$S_{pr} = \frac{b + c}{2} \times h [m^2]$$

Omočený obvod rigolu

$$O = 2a + b [m]$$

Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S_{pr}}{O} [m]$$

Délka boční stěny rigolu – a [m]

Šířka spodní části rigolu – b [m]

Šířka horní části rigolu – c [m]

Výška rigolu – h [m]

1. Způsob

Kapacita rýhy (100%)

Uvažujeme se 100% zaplněním kapacity rýhy → Průtočná plocha rigolu = Plocha omočené části rigolu, Omočený obvod = Omočený obvod po celé výšce

$$Q_d = S_{pr} \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}} \times \sqrt{R \times I} [m^3/s]$$

Průtočná plocha rigolu – S_{pr} [m²]

Součinitel drsnosti stěn – n [-] pro písky a šterky n = 0,025

Hydraulický poloměr – R [m]

Hydraulický spád – I [-] pohybuje se od 0,5% – 2%

Kapacita rýhy (70%)

Návrh kapacity rýhy se zredukuje na 70% → možné změny přítoku do stavební jámy

$$Q_d = Q_d \times 0,7 [m^3/s]$$

Podmínka: Kapacita rýhy > Celkový přítok

$$Q_d [m^3/s] > Q [m^3/s]$$

2. Způsob podle Chézyho

Střední rychlost průtoku dle Chézyho

$$v_{stř} = c \times \sqrt{R \times I} [m/s]$$

Hydraulický poloměr – R [m]

Hydraulický spád – I [-] pohybuje se od 0,5% – 2%

Rychlostní součinitel vyjadřující odpor a tření – c [-]

Rychlostní součinitel podle Kuttera

$$c = \frac{100\sqrt{R}}{n_k + \sqrt{R}} [-]$$

charakter stěn	n_k
velmi hladké	0,16
hladké stěny	0,27
drsne stěny	0,35-0,45
středně drsné	1,5
silně drsné	2
velmi silně drsné	2,5

Tab. 2 - Charakteristika stěn dle Kuttera [3]

Kapacita rýhy (100%)

$$Q_d = S_{pr} \times v_{stř} [m^3/s]$$

Průtočná plocha rigolu – S_{pr} [m²]

Střední rychlost průtoku – $v_{stř}$ [m/s]

Kapacita rýhy (70%)

Návrh kapacity rýhy se zredukuje na 70% → možné změny přítoku do stavební jámy

$$Q_d = Q_d \times 0,7 [m^3/s]$$

Podmínka: Kapacita rýhy > Celkový přítok

$$Q_d [m^3/s] > Q [m^3/s]$$

3. Způsob podle Manninga

Oproti 2. způsobu podle Chézyho se liší pouze ve výpočtu stanovení střední rychlosti průtoku, tudíž u 3. způsobu je uvedena pouze tato část

Střední rychlost průtoku podle Manninga

$$v_{stř} = \frac{1}{n} \sqrt[3]{R^2 \sqrt{I}} \text{ [m/s]}$$

Součinitel drsnosti stěn – n [-] pro písky a šterky $n = 0,025$

Hydraulický poloměr – R [m]

Hydraulický spád – I [-] pohybuje se od 0,5% – 2%

4. APLIKACE NA PŘÍKLADU STAVEBNÍ JÁMY

Aplikace na názorném příkladu se zvolenými hodnotami. V příloze navrhnutá automatizace v programu MS Excel.

4.1 Výpočet povrchového odvodnění

Stanovte přítok vody do stavební jámy a navrhnete systém povrchového odvodnění.

Jáma je hloubená v písčitém šterku o mocnosti 10 m. Pod touhle vrstvou se nachází jíl.

Hladina podzemní vody se nachází 2,5 m pod terénem. Samotná jáma je hluboká 6 m, z toho 3,5 m pod hladinou podzemní vody. Úhel vnitřního tření zadané zeminy je 36° . Koeficient filtrace 1×10^{-3} m/s. Půdorysné rozměry dna jámy jsou 64 x 44 m.

4.1.1 Zadané parametry

Hloubka propustné vrstvy – $h = 10$ m

Hloubka stavební jámy – $h_j = 6$ m

Hladina podzemní vody – HPV = 2,5 m

Úhel vnitřního tření – $\varphi = 36^\circ$

Koeficient filtrace – $k = 1 \times 10^{-3}$ m/s

Půdorysné rozměry dna jámy: Délka – $L = 64$ m

Šířka – $B = 44$ m

4.1.2 Návrh sklonu a půdorysné rozměry

Výpočet sklonu stavební jámy suché části α

$$tg\alpha = \frac{tg\varphi}{\gamma_n} = \frac{tg36}{1,1} \rightarrow \alpha = 33,4^\circ$$

V důsledku budoucího poklesu hladiny podzemní vody k mocnosti zeminy nad hladinou podzemní vody se připočte 1 m. Výška jámy se sklonem $33,4^\circ$ je $2,5+1=3,5$ m

$$tg33,4^\circ = \frac{3,5}{x} \rightarrow x = 5,3 \text{ m}$$

$$tg33,4^\circ = \frac{1}{x} \rightarrow x = 1,5 \text{ m}$$

Pod hladinou podzemní vody je svah ve sklonu 1:3 \rightarrow výška 2,5 m, délka 7,5 m

Půdorysné rozměry dna jámy

$$L = 64 \text{ m}$$

$$B = 44 \text{ m}$$

Půdorysné rozměry stavební jámy vymezené průnikem svahů s původní hladinou podzemní vody

$$L_v = 64 + 2 \times (7,5 + 1,5) = 82 \text{ m}$$

$$B_v = 44 + 2 \times (7,5 + 1,5) = 62 \text{ m}$$

Půdorysná plocha stavební jámy vymezená průnikem svahů s původní hladinou podzemní vody A

$$A = L_v \times B_v = 82 \times 62 = 5084 \text{ m}^2$$

4.1.3 Náhradní poloměr

$$r_s = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{5084}{\pi}} = 40,23 \text{ m}$$

4.1.4 Dopočtení údajů

Výška hladiny ve zvodněné vrstvě

$$H = h - HPV = 10 - 2,5 = 7,5 \text{ m}$$

Výška hladiny vody pod dnem jámy

Uvažuje se hloubka pod stavební jámou po snížení 0,5 m pod dnem jámy.

$$h_0 = h - h_j - 0,5 = 10 - 6 - 0,5 = 3,5 \text{ m}$$

4.1.5 Dosah snížení hladiny

Pro volnou hladinu → Podle Kusakina

$$R = 575(H - h_0)\sqrt{k \times H} = 575(7,5 - 3,5)\sqrt{1 \times 10^{-3} \times 7,5} = 199,19 \text{ m}$$

4.1.6 Stanovení přítoku do stavební jámy

Přítok stěnami jámy:

$$Q_1 = \frac{\pi \times k \times (H^2 - h_0^2)}{\ln \frac{R + r_s}{r_s}} = \frac{\pi \times 1 \times 10^{-3} (7,5^2 - 3,5^2)}{\ln \frac{199,19 + 40,23}{40,23}} = 0,0775 \text{ m}^3/\text{s} = 77,5 \text{ l/s}$$

Přítok dnem jámy:

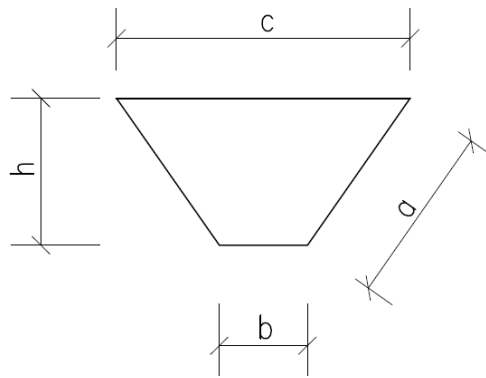
$$Q_2 = \pi \times k \frac{2(H - h_0)r_s}{\frac{\pi}{2} + 2\arcsin \frac{r_s}{h_0 + \sqrt{h_0^2 + r_s^2}} + 0,515 \frac{r_s}{h_0} \ln \frac{R + r_s}{4h_0}}$$
$$= \pi \times 1 \times 10^{-3} \frac{2(7,5 - 3,5)40,23}{\frac{\pi}{2} + 2\arcsin \frac{40,23}{3,5 + \sqrt{3,5^2 + 40,23^2}} + 0,515 \frac{40,23}{3,5} \ln \frac{199,19 + 40,23}{4 \times 3,5}}$$
$$= 0,0489 \text{ m}^3/\text{s} = 48,9 \text{ l/s}$$

Celkový přítok do stavební jámy:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0,0775 + 0,0489 = 0,126 \text{ m}^3/\text{s} = 126 \text{ l/s}$$

4.1.7 Návrh odvodňovacího rigolu

Použity 3 způsoby výpočtů. U všech variant se musí zvolit návrhové rozměry průřezu odvodňovacího rigolu. Poměr sklonu stěny rigolu 1:2 – 1:4.



Obr. 15 - Rozměry rigolu

$$a = 0,52 \text{ m}$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$c = 0,5 \text{ m}$$

$$h = 0,5 \text{ m}$$

Průtočná plocha rigolu

$$S_{pr} = \frac{b + c}{2} \times h = \frac{0,2 + 0,5}{2} \times 0,5 = 0,175 \text{ m}^2$$

Omočený obvod rigolu

$$O = 2a + b = 2 \times 0,52 + 0,2 = 1,24 \text{ m}$$

Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S_{pr}}{O} = \frac{0,175}{1,24} = 0,141 \text{ m}$$

Hydraulický spád

$$I = 0,02$$

1. Způsob

Součinitel drsnosti stěn $n = 0,025$

Kapacita rýhy (100%)

Uvažujeme se 100% zaplněním kapacity rýhy → Průtočná plocha rigolu = Plocha omočené části rigolu, Omočený obvod = Omočený obvod po celé výšce

$$Q_d = S_{pr} \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{1}{6}} \times \sqrt{R \times I} = 0,175 \times \frac{1}{0,025} \times 0,141^{\frac{1}{6}} \times \sqrt{0,141 \times 0,02} = 0,266 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kapacita rýhy (70%)

Návrh kapacity rýhy se zredukuje na 70% → možné změny přítoku do stavební jámy

$$Q_d = Q_d \times 0,7 = 0,266 \times 0,7 = 0,186 \text{ m}^3/\text{s}$$

Podmínka: Kapacita rýhy > Celkový přítok

$$Q_d = 0,186 \text{ m}^3/\text{s} > Q = 0,126 \text{ m}^3/\text{s} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Poznámka: Kapacita rýhy (rigolu) se případně podělí jejich počtem, z hlediska bezpečnosti můžeme ponechat a předejít rizikovým situacím.

2. Způsob podle Chézyho

Charakter stěn dle Kuttera $n_k = 1,5$

Rychlostní součinitel podle Kuttera

$$c = \frac{100\sqrt{R}}{n_k + \sqrt{R}} = \frac{100\sqrt{0,141}}{1,5 + \sqrt{0,141}} = 20$$

Střední rychlost průtoku dle Chézyho

$$v_{stř} = c \times \sqrt{R \times I} = 20 \times \sqrt{0,141 \times 0,02} = 1,061 \text{ m/s}$$

Kapacita rýhy (100%)

$$Q_d = S_{pr} \times v_{stř} = 0,175 \times 1,061 = 0,186 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kapacita rýhy (70%)

Návrh kapacity rýhy se zredukuje na 70% → možné změny přítoku do stavební jámy

$$Q_d = Q_d \times 0,7 = 0,186 \times 0,7 = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

Podmínka: Kapacita rýhy > Celkový přítok

$$Q_d = 0,130 \text{ m}^3/\text{s} > Q = 0,126 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Vyhovuje}$$

Poznámka: Kapacita rýhy (rigolu) se případně podělí jejich počtem, z hlediska bezpečnosti můžeme ponechat a předejít rizikovým situacím.

3. Způsob podle Manninga

Součinitel drsnosti stěn $n = 0,025$

Střední rychlost průtoku podle Manninga

$$v_{stř} = \frac{1}{n} \sqrt[3]{R^2 \sqrt{I}} = \frac{1}{0,025} \sqrt[3]{0,141^2 \sqrt{0,02}} = 1,530 \text{ m/s}$$

Kapacita rýhy (100%)

$$Q_d = S_{pr} \times v_{stř} = 0,175 \times 1,530 = 0,268 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kapacita rýhy (70%)

Návrh kapacity rýhy se zredukuje na 70% → možné změny přítoku do stavební jámy

$$Q_d = Q_d \times 0,7 = 0,268 \times 0,7 = 0,187 \text{ m}^3/\text{s}$$

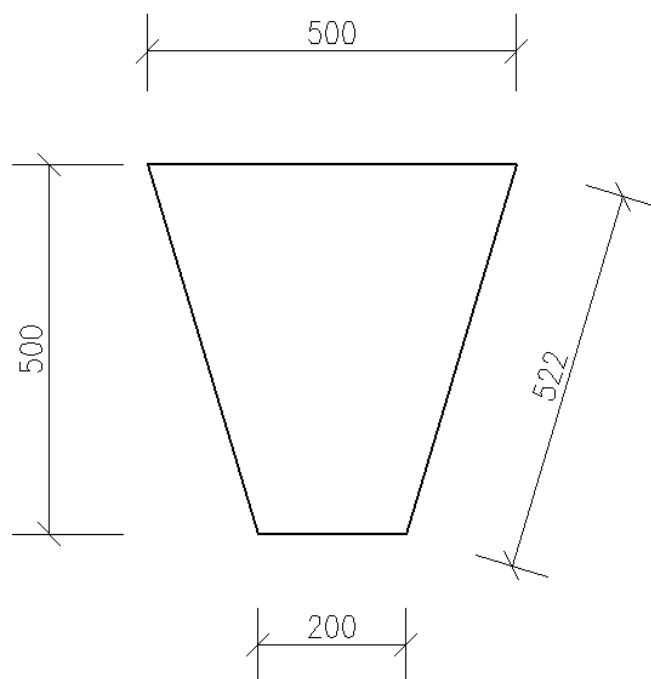
Podmínka: Kapacita rýhy > Celkový přítok

$$Q_d = 0,187 \text{ m}^3/\text{s} > Q = 0,126 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Vyhovuje}$$

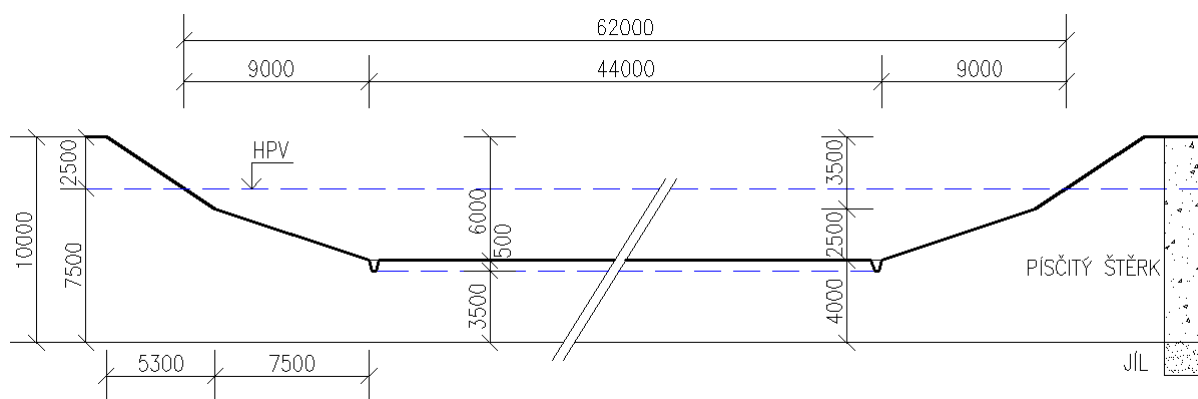
Poznámka: Kapacita rýhy (rigolu) se případně podělí jejich počtem, z hlediska bezpečnosti můžeme ponechat a předejít rizikovým situacím.

4.1.8 Závěr příkladu

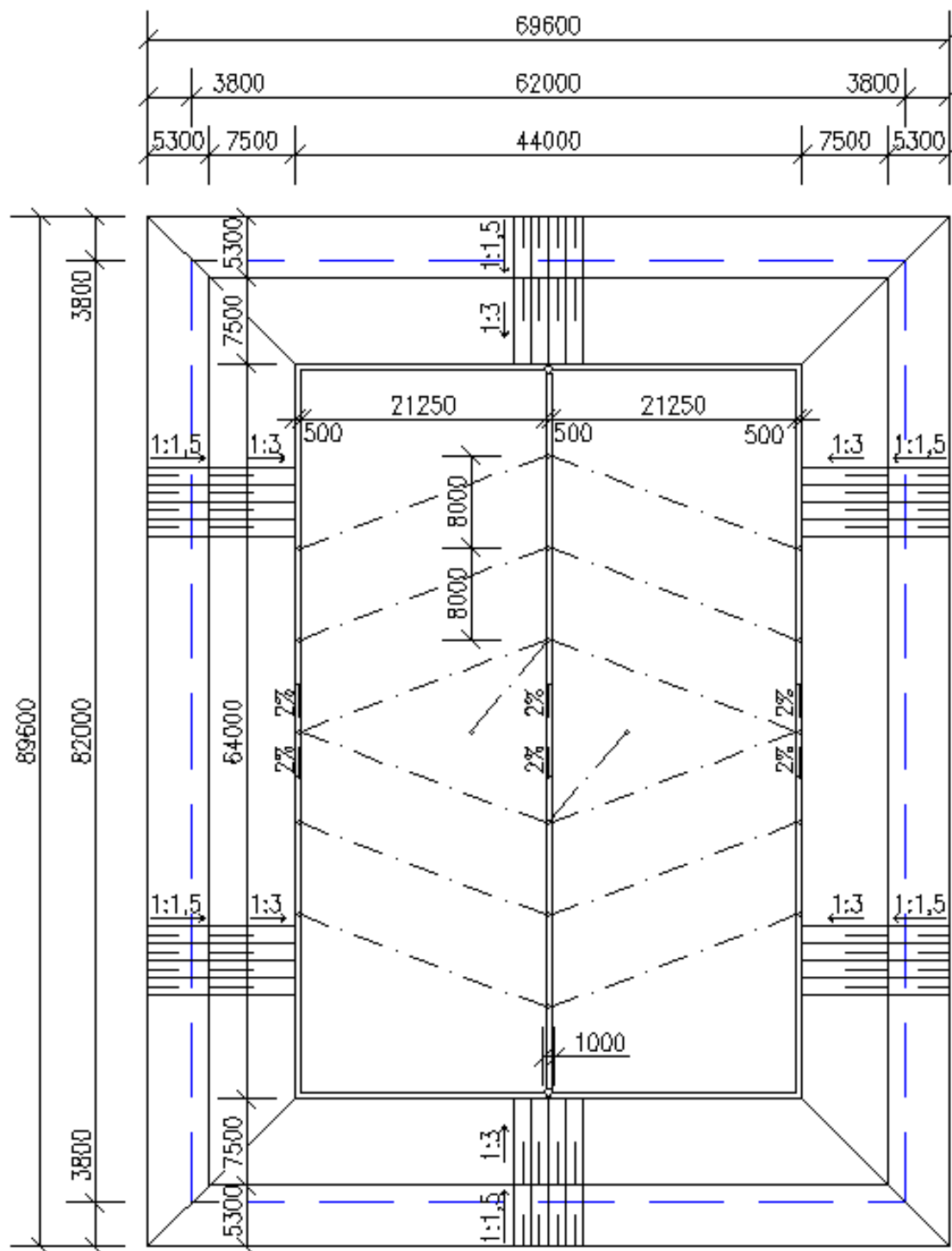
Byl stanoven celkový přítok do stavební jámy, který má hodnotu $0,126 \text{ m}^3/\text{s}$. Navrženy odvodňovací rigoly tvaru lichoběžníka: $a = 0,52 \text{ m}$, $b = 0,2 \text{ m}$, $c = 0,5 \text{ m}$, $h = 0,5 \text{ m}$. Odvodňovací rigol vyhoví podle všech tří způsobů výpočtu. Rigoly jsou svedeny do 2 sběrných studní, odkud bude voda odčerpávána. Pro lepší odvodnění rozmístěny drenážní trubky, které jsou svedeny do navržených rigolů. Detail rigolu, řez a půdorys stavební jámy na obr. 16, 17, 18.



Obr. 16 - Detail rigolu



Obr. 17 - Řez stavební jámou



Obr. 18 - Půdorys stavební jámy

5. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byly popsány jednotlivé druhy odvodňovacích způsobů stavebních jam používané na našem území. Jejich součásti, využití a technologické postupy. Byl zpracován teoretický výpočet přítoku do stavební jámy na základě koeficientu filtrace a dalších nutných parametrů. Konkrétně byl teoretický výpočet zaměřen na povrchové odvodnění, u něhož se stanovil přítok do stavební jámy a poté dimenzaci odvodňovacího rigolu.

Teoretické výpočty návrhu a dimenzování povrchového odvodnění byly aplikovány na určitém příkladu námi zvolenými hodnotami. Nejprve se stanovilo geometrické rozložení stavební jámy na základě mechanických a fyzikálních vlastností zeminy. Vypočítal se na základě zvolených parametrů celkový přítok do stavební jámy. Poté se navrhnul odvodňovací rigol, který vyhověl podle všech tří způsobů výpočtu.

Součástí bakalářské práce je také navržená automatizace v programu MS Excel, která je uvedena v elektronické příloze. Vstupní volené parametry k návrhu jsou hloubka propustné vrstvy, hloubka stavební jámy, hladina podzemní vody, úhel vnitřního tření, koeficient filtrace a půdorysné rozměry dna jámy.

6. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH

Seznam obrázků

Obr. 1 - Metody odvodnění stavebních jam pro typy zemin dle koeficientu filtrace [2].....	6
Obr. 2 - Řez povrchového odvodnění hydraulicky nedokonalé stavební jámy [8].....	7
Obr. 3 - Půdorysné schéma odvodňovacího systému stavební jámy pro plochy do 400 m ² [2]8	
Obr. 4 - Půdorysné schéma odvodňovacího systému stavební jámy pro velké plochy [2].....	8
Obr. 5 - Hydrodynamická síť při povrchovém odvodnění [2]	9
Obr. 6 - Postup výkopu a snižování hladiny [2].....	10
Obr. 7 - Konečný stav [2].....	11
Obr. 8 - Postup výkopu a snižování hladiny pomocí horizontální drenáže [2].....	11
Obr. 9 - Schematický řez vrtanou studní [7]	13
Obr. 10 - Schéma odvodňovacího systému s čerpacími jehlami [7].....	14
Obr. 11 - Jednoduchá a dvojitá koncovka čerpacích jehel [4]	15
Obr. 12 - Schéma hloubkového odvodnění čerpacími jehlami [4].....	17
Obr. 13 - Schéma hloubkového odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy [2]	18
Obr. 14 - Rozměry rigolu	21
Obr. 15 - Rozměry rigolu	27
Obr. 16 - Detail rigolu	30
Obr. 17 - Řez stavební jámou.....	30
Obr. 18 - Půdorys stavební jámou	31

Seznam tabulek

Tab. 1 - Koeficient filtrace pro různé typy zemin	18
Tab. 2 - Charakteristika stěn dle Kuttera [3]	23

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Automatizace výpočtu povrchového odvodnění svahované stavební jámy v programu MS Excel v podobě elektronické přílohy na CD

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Seznam použitých literárních zdrojů

- [1] GREGOR, Robert. *Odvodňovanie stavebných jam*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990.
- [2] GRMELA, Arnošt. *Odvodnění dolů, lomů a stavebních jam*. Ostrava: Hornicko-geologická fakulta - VŠB-TUO, 1995.
- [3] GRMELA, Arnošt. *Přednášky a podklady*.
- [4] HULLA, Jozef, TURČEK, Peter. *Zakládání staveb*. Praha: Jaga group, 2005. ISBN 80-8076-023-3.
- [5] KOVAŘÍK, Karel, SITÁNYIOVÁ, Dana, DRUSA, Marian: *Hydraulika a hydrológia*. Žilina, SK: Vydavateľství ŽU Žilina. 2003. 260 s. ISBN 80-8070-037-0.
- [6] LAMBOJ, Ladislav, ŠTĚPÁNEK, Zdeněk. *Zakládání staveb 10: Výpočty 2. Doplňkové skriptum*. Praha: ČVUT v Praze, 1994. ISBN 80-01-01084-8.

Seznam použitých internetových zdrojů

- [7] 6. Výkopy s úrovní dna pod hladinou podzemní vody. *Zajištění stavební jámy a výkopů obecně, podchycení stávajících konstrukcí - obsah* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama6.html>
- [8] LAHUTA, Hynek. *Odvodnění stavebních jam. Zakládání staveb ve složitých podmínkách* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/lahuta/ZSSP/zssp.htm>
- [9] *Odvodnění stavební jámy. Mira z Lidča* [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~pin078/zs.htm>