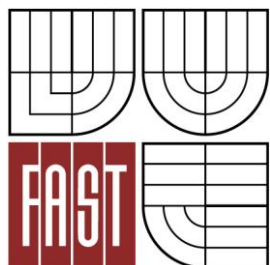




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

NÁVRH MALÉ VODNÍ NÁDRŽE THE DESIGN OF THE SMALL WATER RESERVOIR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN GALUŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. PETR DOLEŽAL

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Galuška
Název	Návrh malé vodní nádrže
Vedoucí bakalářské práce	doc. Dr. Ing. Petr Doležal
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce	24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

ABSTRAKT :

Práce se zabývá posouzením možnosti návrhu malé vodní nádrže na vytipovaném území obce Bezměrov. Součástí práce je pojednání o typech a funkcích malých vodních nádrží a jejich vodohospodářském řešení. Je vyhodnocen geologický průzkum lokality, který mapuje skladbu vrstev zeminy a dostupných materiálů pro výstavbu hráze. Pro konkrétní uvažované profily hráze je vypracována vodní bilance, která hodnotí specifický odtok z povodí, výpar a průsak vody tělesem zjednodušeně navržené hráze. Vzniká tak základní představa o možnostech manipulace s vodou v daném území. Na základě tohoto vyhodnocení je zpracováno několik variant řešení pro posouzení retenčních účinků soustavy dvou malých vodních nádrží nad obcí Bezměrov.

ABSTRACT :

The concept of this work is to assess options of a small water reservoir design on the selected area Bezměrov. Part of the work refers to different types and functions of small dams and their water management solutions. There is a geological survey presented which is describing the composition of the soil layers and investigating available materials for dam constructions. Water balance has been processed for considered dam profiles evaluating specific outflow of the catchment area, vapor and leakage through a simplified design of the dam. That creates a basic conception about possibilities of water manipulation in this area. Based on this evaluation there are several options processed to explore the retention effects of this two small water reservoirs system above Bezmerov locality.

KLÍČOVÁ SLOVA :

průtok, vodní nádrž, akumulace, retence, infiltrace, průsak, výpar

KEY WORDS :

flow, water reservoir, accumulation, retention, infiltration, leakage, vapor

GALUŠKA, Martin. *Návrh malé vodní nádrže*. Brno, 2013. 34 s., 2 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Petr Doležal.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2013

.....
podpis autora
Martin Galuška

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval za cenné připomínky a odborné rady doc. Dr. Ing. Petru Doležalovi, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji rodině, kamarádům a přítelkyni za trpělivost a podporu v době psaní této práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	POPIS PROBLEMATIKY	9
2.1	Malé vodní nádrže	9
2.1.1	Definice malé vodní nádrže.....	9
2.1.2	Rozdělení nádrží dle funkce	9
2.2	Vodohospodářské řešení.....	11
2.2.1	Podklady.....	11
2.2.2	Rozdělení prostorů v nádrži.....	11
2.2.3	Metody řešení	12
3	PRAKTICKÁ APLIKACE.....	18
3.1	Popis území.....	18
3.2	Geologické podmínky	18
3.2.1	Stručný geologický popis lokality	19
3.2.2	Konstrukční zeminy.....	19
3.3	Výpočet vodní bilance.....	20
3.3.1	Batygrafické čáry.....	20
3.3.2	Výpočet průměrného přítoku.....	21
3.3.3	Ztráty vody z nádrže	23
3.3.4	Měsíční bilance.....	25
3.3.5	Návrh bezpečnostního přelivu	26
3.3.6	Posouzení retenční schopnosti.....	27
4	ZÁVĚR	31
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	32
	SEZNAM OBRÁZKŮ (TABULEK).....	33
	SEZNAM PŘÍLOH.....	34

1 ÚVOD

V této práci budu zkoumat možnosti využití pro dva uvažované profily hráze u obce Bezměrov. Jsou uspořádány v linii pod sebou a navzájem propojeny. Pokusím se vyhodnotit, zda je v lokalitě dostatečné množství vody, aby bylo možné nádrže kromě retenčních účinků využívat např. jako zdroj vody. V první části se budu věnovat popisu problematiky malých vodních nádrží, jejich rozdělení a vodohospodářského řešení z obecného hlediska. V části druhé shrnu výsledky geologického průzkumu dané lokality a provedu vodní bilanci pro dané povodí o velikosti 13 ha. V závislosti na výsledku vodní bilance případně posoudím transformaci kulminačního průtoku povodňové vlny soustavou nádrží v několika variantách výškového uspořádání simulačním modelem.

2 POPIS PROBLEMATIKY

Kapitola se zabývá popisem problematiky, rozdělením nádrží dle funkce a typu, uvádí běžně používané podklady pro průzkum lokality a metody vedoucí k vodohospodářskému řešení.

2.1 MALÉ VODNÍ NÁDRŽE

V této části bude zevrubně pojednáno o typech a funkcích malých vodních nádrží.

2.1.1 Definice malé vodní nádrže

Za malou vodní nádrž je možné dle ČSN 75 2410 považovat nádrž, která splňuje následující podmínky :

- a) Celkový objem nádrže (počítaný po hladinu ovladatelného prostoru) nepřesahuje 2 mil. m³.
- b) Maximální hloubka nádrže nepřesahuje 9 m (počítáno od nejnižšího místa po maximální hladinu). [4]

2.1.2 Rozdělení nádrží dle funkce

Dle ČSN 75 2410 se malé vodní nádrže dělí na několik základních typů. U každého typu je uvedena stručná charakteristika a výčet několika praktických využití.

a) Zásobní nádrže

Využívají se obecně k akumulaci vody v době jejího nadbytku k zásobování nejrůznějších odběratelů v době jejího nedostatku.

- Vodárenské
- Energetické
- Závlahové

b) Ochranné nádrže

Jsou projektovány na zachycení povodňových odtoků, transformaci povodňových vln a chrání tak částečně až úplně dané území či objekty před negativními účinky velkých vod.

- Suché ochranné nádrže
- Protierozní nádrže
- Vsakovací nádrže

c) Nádrže upravující vlastnosti vody

Navrženy pro úpravu vody, popř. změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností s využitím především přírodních samočisticích procesů ve vodním prostředí.

- Chladicí nádrže

- Usazovací nádrže
- Aerobní biologické nádrže

d) Rybochovné nádrže (speciální rybníky)

Slouží pro vytvoření optimálního vodního prostředí pro chov ryb.

- Výtěrové rybníky
- Plůdkové výtažníky
- Sádky

e) Hospodářské nádrže

Jsou to speciální nádrže k plnění konkrétních hospodářských funkcí.

- Protipožární nádrže
- Nádrže pro chov vodní drůbeže
- Napájecí a plavící nádrže

f) Speciální účelové nádrže

Nádrže rozmanitého typu určené pro konkrétní provozní potřeby.

- Přečerpávací nádrže
- Splavovací nádrže
- Závlahové vodojemy

g) Asanační nádrže

Využívají akumulovanou vodu k ozdravení narušeného životního prostředí pomocí zaplavení území vodou.

- Záchytné nádrže
- Umělé laguny
- Otevřené vyhnívací nádrže

h) Rekreační nádrže

Vodní nádrže určené k odpočinku, plavání a provozování vodních sportů (vodní lyžování, veslování apod.)

- Přírodní koupaliště
- Nádrže pro plavání a vodní sporty

i) Krajinotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě

Navrženy ke zlepšení ekologických funkcí a estetického účinku krajiny či dané zástavby (sídliště, parků, apod.) Jedná se o konstrukčně a tvarové rozmanitá uspořádání malých vodních nádrží s různým vybavením.

- Hydromeliorační nádrže
- Okrasné nádrže
- Umělé mokřady

[4],[1]

2.2 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

V rámci této části bude pojednáno o významu vodohospodářského řešení, o podkladech nutných k jeho vypracování a o vlastních metodách výpočtů.

Samotné vodohospodářské řešení je klíčové pro návrh nádrže. Jeho účelem je především zabezpečení požadavků provozovatele nádrže správným stanovením jejího objemu, rozdělením jednotlivých prostorů v nádrži, stanovením parametrů objektů atd. K rozsahu jeho zpracování je třeba přistoupit s přihlédnutím k významu nádrže, její požadované funkce, spolehlivosti a dostupnosti podkladů.

2.2.1 Podklady

Klíčovou roli hrají batygrafické čáry, nebo také čáry zatopených ploch a objemů. Znázorňují závislost plochy hladiny na objemu nádrže. Podkladem pro jejich stanovení je nejlépe podrobné výškové zaměření budoucí zátopy nádrže, u předběžných propočtů pak postačí výškopis z mapových podkladů.

Dalším podstatným článkem jsou hydrologické údaje. Je třeba aby byly ověřeny Českým hydrometeorologickým ústavem. Kromě základních údajů je to především reálná nebo odvozená hydrologická řada průměrných měsíčních průtoků za určité období. Délka řady je odpovídající významu nádrže.

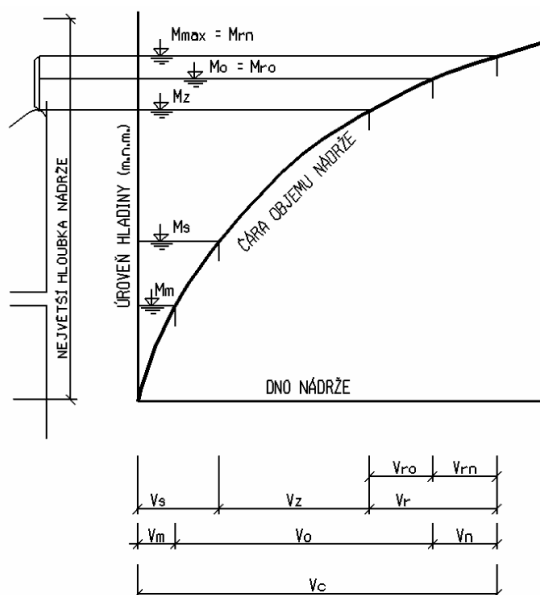
Při řešení ochranné funkce je nutno znát přítok do nádrže, parametry vodního díla a požadavek na neškodný odtok, v neposlední řadě hydrogramy povodňových vln charakterizované velikostí kulminačního průtoky a objemem.

Ke stanovení charakteristik nádrže slouží geotické podklady. Za účelem získání přehledu o složení a vlastnostech zeminy v dané lokalitě je vhodné nechat si vypracovat geologické podklady.

[1], [5]

2.2.2 Rozdělení prostorů v nádrži

Pro každou nádrž je charakteristické její uspořádání z hlediska jednotlivých prostor. Pro malé vodní nádrže je podstatná především velikost zásobního prostoru (akumulace vody) a prostoru ochranného (retenční funkce).



Obr. 1 – Uspořádání prostorů v nádrži

Prostor mrtvý (V_m) není možné ovládat ani vypouštět, jelikož leží pod spodními výpustmi.

Prostor stálého nadržení (V_s) je za běžného provozu nepřetržitě zatopen.

Prostor zásobní (V_z) je ovládán výpustným a odběrným zařízením a vytváří zásobu vody v nádrži.

Prostor retenční má funkci ochrannou a je schopen mírnit následky povodňové vlny. Dělí se na prostor retenční ovladatelný (V_{ro}) a neovladatelný (V_{rn}).

Analogicky se stejnými indexy jsou označeny ohraničující hladiny jednotlivých prostorů (M_z pro hladinu zásobního prostoru, atd.) [1]

2.2.3 Metody řešení

Jedná se o výpočet ztráty vody v nádržích, řešení prvního plnění a prázdnění nádrže a jejího zásobního a retenčního objemu.

Ztráty vody

Podstatné pro vodohospodářské řešení jsou ztráty způsobené výparem z vodní hladiny, výparem z vodních rostlin (transpirace), průsakem hrází a podloží hráze, provozní ztráty a dočasná ztráta vody zamrznutím.

Ztráta vody výparem z vodní hladiny

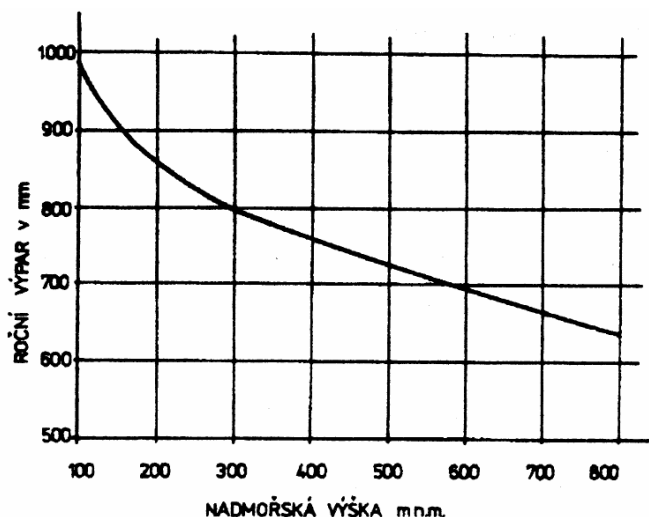
Odborná literatura zde nabízí tři možnosti určení množství vypařené vody.

Jednou z nich je stanovení průměrného denního výparu (mm) pomocí nomogramu na základě znalosti průměrného měsíčního tlaku vodních par [kPa] a průměrné měsíční teploty vzduchu [°C].

Lze také využít vztahu počítajícího s průměrnou měsíční teplotou vzduchu T [$^{\circ}\text{C}$] a průměrnou měsíční relativní vlhkostí vzduchu W_r [%]. Vzorec je platný pro teploty od 5°C a výše.

$$H_d = 13,5 \cdot \frac{T}{W_r} \quad [\text{mm} \cdot \text{den}^{-1}]$$

ČSN 75 2410 pak nabízí ke stanovení výparu nomogram, který stanovuje závislost mezi nadmořskou výškou nádrže a jejím ročním výparem. Tento výpar je pak dle této normy poměrně rozdělen do jednotlivých měsíců v roce.



Obr. 2 – stanovení výparu dle ČSN 75 2410

Stanovením výparu jednou z těchto metod a násobkem této hodnoty s plochou nádrže při uvažované hladině získáváme objem vody ztracené výparem za určitou jednotku času. [1]

Ztráta vody infiltrací do dna

Uvažuje se u nádrží při prvním, případně opětovném napouštění, pokud byla nádrž po delší dobu bez vody. U nádrží po vypuštění bezprostředně opět napouštěných se ztráta infiltrací do dna neuvažuje. Ztráta je závislá na ploše a materiálu dna, morfologii nádržní pánve a geologických podmínkách podloží.

V případě, že hladina podzemní vody je v řezu rovnoběžně se dnem nádrže, je možné určit ztrátu infiltrací do dna dle Isajeva :

$$Zd = \frac{P}{100} \cdot (h - h_k) \cdot S \quad [\text{m}^3]$$

P [%] - pórovitost materiálu dna nad výškou kapilárního vztlínání

h [m] - hloubka hladiny podzemní vody pode dnem nádrže

h_k [m] - kapilární výška materiálu

S [m²]- plocha dna nádrže

Při nehomogenní skladbě dna se pórovitost počítá jako vážený průměr jednotlivých vrstev. Nejmenší kapilární výšky dosahuje voda u písku (0,03 – 0,10 m), největší naopak u jílu (přes 50m). Pórovitost u písku je v rozmezí 28 – 38 %, zatímco u jílu je to 46 – 55 %.

Ztráty průsakem hrází a jejím podloží

Stanovuje se specifický průsak hrází výpočtem pro danou kombinaci hráze a podloží.

- homogenní hráz na nepropustném podloží
- nehomogenní hráz na nepropustném podloží
- homogenní hráz na propustném podloží
- nehomogenní hráz na propustném podloží

Z uvedených se omezím na popis metody stanovení průsaku u homogenní hráze na nepropustném podloží. Vychází se z předpokladu ustáleného rovnoměrného proudění a výpočet specifického průsaku q je proveden na jednotku šířky hráze.

$$q = K \cdot \frac{H^2}{2L} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}]$$

K [m.s⁻¹] - součinitel hydraulické vodivosti zeminy hráze

H [m] - výška vody v nádrži

L je vypočteno ze vztahu :

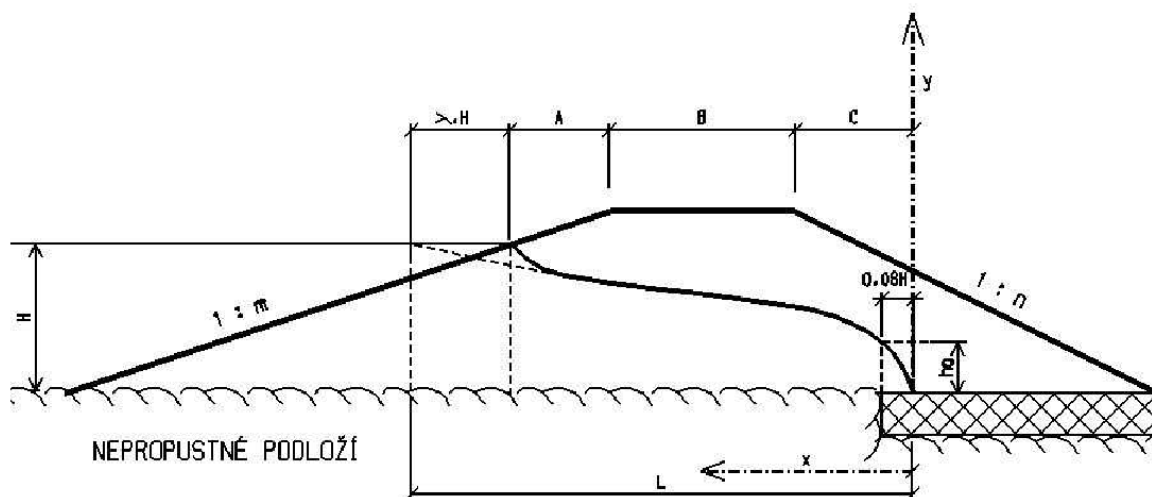
$$L = \lambda \cdot H + A + B + C \quad [\text{m}]$$

kde λ se počítá jako :

$$\lambda = \frac{m}{1 + 2m}$$

m - vyjadřuje sklon svahu návodního líce hráze

A, B, C - viz obr. 3



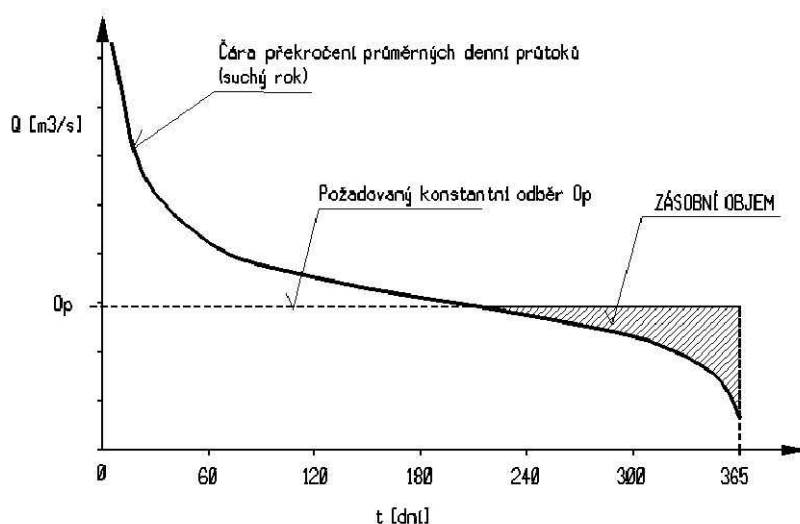
Obr. 3 - Schéma veličin - homogenní hráz na nepropustném podloží

Řešení zásobní funkce nádrže

V rámci vodohospodářského řešení se u nádrže řeší závislost mezi velikostí zásobního objemu V_z , nalepšeného odtoku O_p a jeho zabezpečeností P se známým přítokem do nádrže Q . Pro většinu malých vodních nádrží bude řízení odtoku roční, popř. sezónní.

Metody pro stanovení zásobního objemu V_z

Pro hrubý výpočet potřebného zásobního prostoru je možno využít čaru překročení m-denních průtoků v suchém roce. Metoda vyhovuje za předpokladu ročního řízení odtoku s neměnným odběrem během celého roku.



Obr. 4 - Stanovení zásobního objemu pomocí čary překročení m-denních průtoků

Jsou-li k dispozici průtokové řady, je možné využít metodu simulační, postupně bilanční.

Metoda se řeší tabulkově a vychází z počáteční podmínky plné nádrže. Bilancuje vztah mezi přítokem a odtokem z nádrže, kdy v případě, že přítok Q je menší než odtok O_p dochází k prázdnění nádrže. Tato bilance je provedena pro každý zvolený časový usek a maximální hodnota prázdnění nádrže (tzv. povypřázdňení nádrže) je pak velikostí potřebného zásobního prostoru pro zajištění zabezpečení $P=100\%$ nalepšeného odtoku O_p . [9],[1]

První naplnění nádrže

U nádrží s menším významem se dá výpočet provést metodou s využitím součtových čar m -denních průtoků, ale zavedení ztrát vody je v této metodě obtížně realizovatelné. Vhodné je použití metody simulační postupně bilanční. [1]

První prázdnění nádrže [1]

Je závislé na parametrech spodních výpustí a jde o postupné snižování objemu vody v nádrži. Celková požadovaná doba prázdnění je uvedena v manipulačním řádu a je dána součtem dob dílčích objemů nádrže dle vztahu :

$$T = \sum_{i=1}^n t_i = \frac{0,132}{m \cdot b_0} \cdot \left(\frac{S_0}{2} + S_1 + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right) \cdot \frac{1}{z^{0,5}} \quad [s]$$

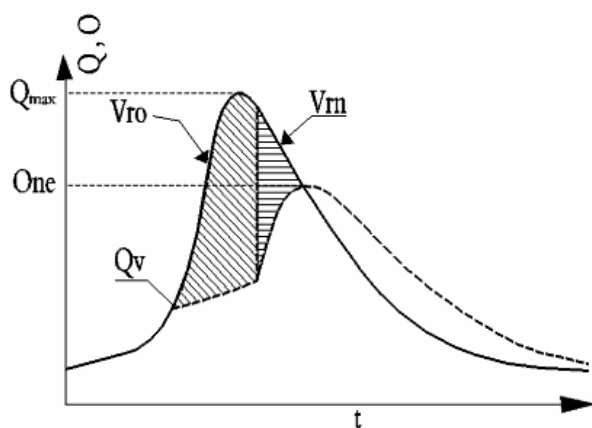
kde S_{0-n} jsou plochy hladiny nádrže odpovídající dělení podle výšky dluže $[m^2]$, z je výška dluže $[m]$, m je přepadový součinitel, b_0 je účinná šířka dluže $[m]$.

Retenční funkce nádrže [9],[1]

Výsledkem řešení je stanovení objemu retenčního prostoru ovladatelného a neovladatelného na základě zvolených parametrů bezpečnostního přelivu a znalosti hodnoty neškodného odtoku. Jedná se o optimalizační úlohu realizovanou simulačním modelem, kdy pro dané parametry spodní výpustí a bezpečnostního přelivu hledáme optimální rozložení retenčních prostorů V_{ro} a V_m .

Plnění retenčního prostoru ovladatelného je pouze funkcí průměru spodních výpustí, plnění retenčního prostoru neovladatelného je závislé na tvaru a délce přelivné hrany.

Účinnost V_m je zanedbatelná vůči účinnosti V_{ro} .



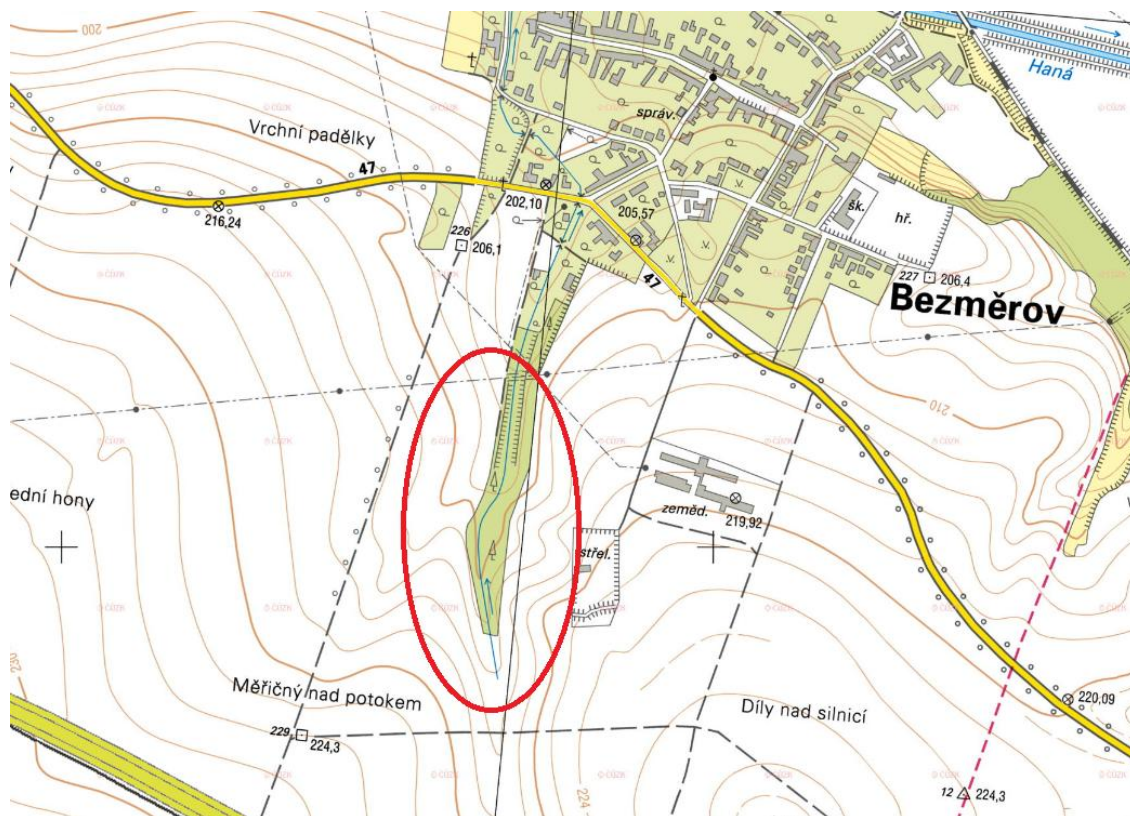
Obr. 5 - Účinnost retenčních prostorů

U malých vodních nádrží je délka přelivné hrany navrhována s ohledem na bezpečnost díla proti přelití. K řešení dané úlohy lze použít několik metod, obvykle simulační modely. Známa je Klemešova metoda, která se řeší graficky pomocí transformační čáry. Její výhodou je názornost výstupu, nicméně nejčastěji se používají numerické metody (M.Starý). [9],[1]

3 PRAKTICKÁ APLIKACE

3.1 POPIS ÚZEMÍ

Obec Bezměřov leží 7 km severozápadně od okresního města Kroměříž na pravém břehu řeky Hané v nadmořské výšce 194 m. Žije zde asi 560 obyvatel.



Obr. 6 - zaměřené území u obce Bezměřov, základní státní mapa 1 : 10 000

Po posouzení morfologie území byly v dané lokalitě zaměřeny dva profily vhodné pro výstavbu hráze (viz příloha č.1). Tyto profily se nacházejí nad sebou a předběžným záměrem je výstavba dvou nádrží v linii. Cílem je početně vyhodnotit množství vody v povodí a získat přehled o možnostech návrhu. Plocha povodí je protnuta dálnicí D1, která však má v sobě zabudován propustek a přítok vody tak není omezen.

Dno uvažované horní nádrže leží na kótě 211 m n.m. s korunou hráze o kótě 216 m n.m. Dolní nádrž navazuje na horní nádrž korunou v úrovni 211 m n.m. a dnem v kótě 206 m n.m.

3.2 GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Znalost geologické skladby vytipované lokality k návrhu malé vodní nádrže patří k velmi důležitým výchozím podkladům. V rámci průzkumu byly odebrány desítky vzorků vrtanou sondou. Tyto vzorky byly pak podrobeny laboratorní analýze, která

zkoumala Atterbergovy meze (mez tekutosti a mez plasticity), objemovou hmotnost, vlhkost a zrnitost.

3.2.1 Stručný geologický popis lokality

Dle průzkumu je zvolené území morfologicky mladou erozní rýhou, která byla v minulosti vytvořena atmosférickými srážkami, jejichž odtok byl tímto územím směřován. Postupným snosem pokryvů tohoto území došlo k vypreparování nejstaršího říčního terasového stupně řeky Hané, který akumuluje podzemní vody.

Základové poměry jsou tvořeny převážně jemnozrnnými sedimentárními materiály. Pověšinou se jedná o organické hlíny a aluviální jíly. Ve svazích údolí leží deriváty eolických sedimentů, avšak vlivem erozní a deluviální činnosti jsou značně degradované do pozice prachovitých a jílovitých hlín měkkých až tuho-pevných.

Podloží území je tvořeno neogenními jíly a jílovitými hlínami pestrými. Shora jsou tyto sedimenty pevnostně měkké, ale s narůstající hloubkou se stávají tuho-pevné až pevné. [8]

3.2.2 Konstrukční zeminy

Z hlediska výstavby hráze je ekonomicky výhodné použití místních materiálů, pokud odpovídají požadavkům na vlastnosti konstrukčních zemin.

Zásady pro použití zeminy do násypu homogenních hrází :

- Koeficient transmisivity je menší $10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$
- Čára zrnitosti bude v oblasti 2 dle ČSN 73 6824, obr.1
- Obsah organických látek nesmí překročit hranici 5%
- Mez tekutosti nepřekročí hranici 50%
- Maximální velikost zrna bude do 100 mm

Celkem je možné na území průzkumu nalézt čtyři druhy zemního materiálu pro využití při výstavbě. Jejich charakteristické geotechnické vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

třída	symbol	vlhkost	hustota	c_{ef}	ϕ_{ef}
-	-	%	kN/m^3	kPa	°
F5	MI	26,6	19,5	12	22
F6	CL, CI	19,3	20,4	8	21
F8	CH	21,8	20,6	9	19
S5	SC	-	18,2	10	27
G3	G-F	-	19,3	0	32
R3	-	-	-	-	-

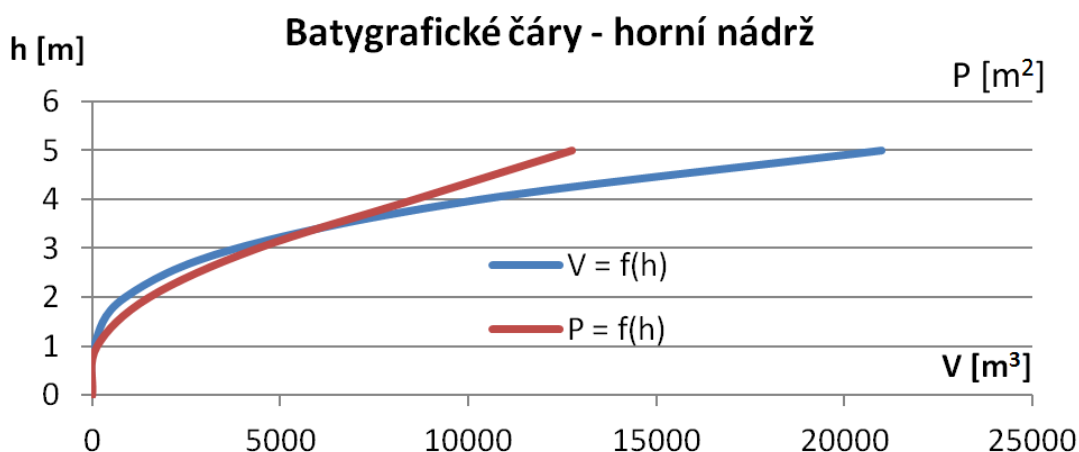
Obr. 7 - Charakteristika konstrukčních zemin

Vzhledem k plasticitě a vlhkostním poměrům budou pro použití do tělesa hráze optimální volbou zeminy typu F5-MI. Vzhledem k možnosti kolísání vlhkosti je nutno počítat s vlhčením. Samotné hutnění musí být prováděno po vrstvách 0,15m, přičemž přesah pro hutnění v jednom směru pojezdu bude 25% šířky hutněního zařízení. [8]

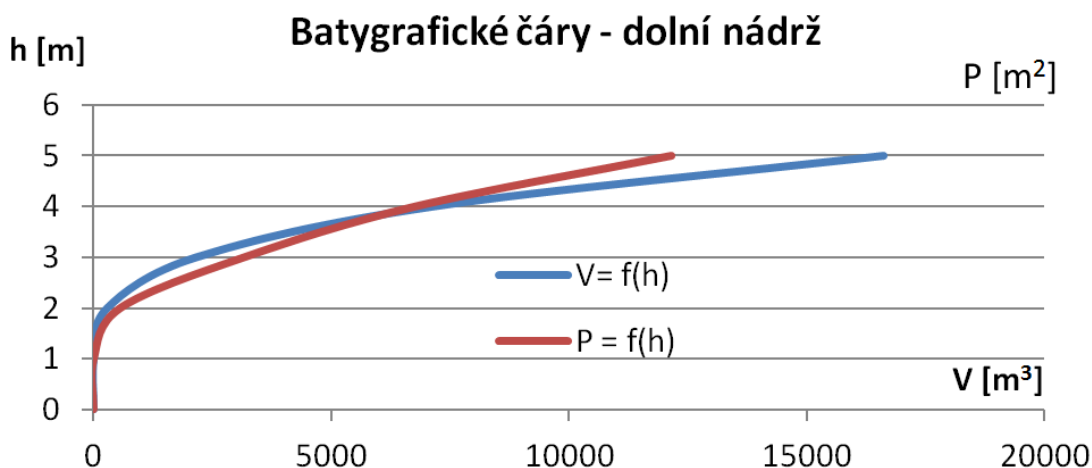
3.3 VÝPOČET VODNÍ BILANCE

3.3.1 Batygrafické čáry

Pro stanovení dostupného objemu nádrží při uvažovaných profilech v konkrétních morfologických podmínkách se využije konstrukce batygrafických čar.



Obr. 8 - Batygrafické čáry pro horní nádrž



Obr. 9 - Batygrafické čáry pro dolní nádrž

Získáváme tak přehled o velikosti objemu při určité hladině. Při stanovení hladiny zásobního objemu do výšky 3 m nade dnem nádrží budou zásobní objemy $V_{z,h}=3\,828\text{ m}^3$ pro horní nádrž, respektive $V_{z,d}=2\,164\text{ m}^3$ pro nádrž dolní.

3.3.2 Výpočet průměrného přítoku

Horní nádrž (a tedy i dolní nádrž, která je závislá na přítoku z nádrže horní) je závislá na dodávce vody ve formě celkového odtoku z povodí. Z mapy izolinií specifického odtoku q_a průměrného ročního průtoku Q_a byla odečtena hodnota pro okolí obce Bezměrov

$$q_a = 3,0 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$$

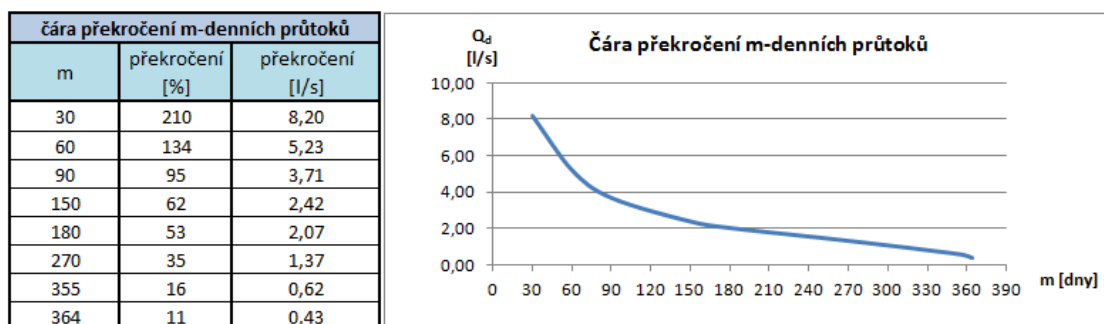
a byla zaměřena plocha povodí pomocí rozvodnic, která i s územím za dálnicí D1 je

$$A = 1,30 \text{ km}^2.$$

Jednoduchým vztahem byl odvozen průměrný roční průtok :

$$Q_a = q_a \cdot A = 3,9 \text{ l/s}$$

Jako podstatný hydrologický podklad byla zpracována čára překročení m-denních průtoků.



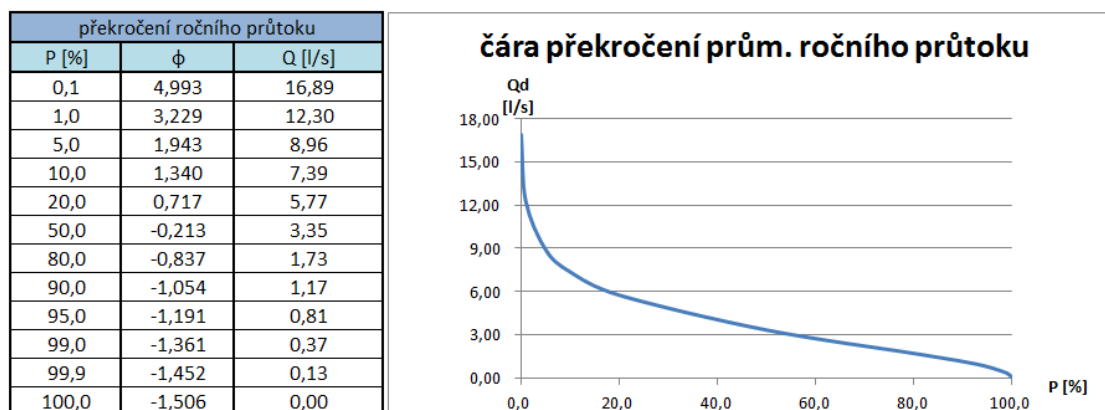
Obr. 10 - výpočet a grafické vynesení čáry překročení m-denních průtoků

Dále byl vypočten koeficient variace C_v dle vzorce

$$C_v = \frac{1,06}{q^{0,596}} + 0,0384 \cdot \log \frac{1270}{A} = 0,66552$$

podle kterého byl stanoven koeficient $C_s = 1,33104$.

Z tabulky Foster-Rybkina jsem následně určil pravděpodobnost překročení ročního průtoku. S využitím interpolace je vypočtena čára překročení dlouhodobého průtoku.



Obr. 11 Pravděpodobnost překročení průměrného ročního průtoku

Pro hodnocení vodnosti v daném území je kritická především bilance vody za suchý rok. Za suchý rok je považována hodnota průtoku s pravděpodobností $P=80\%$, tj. $Q_{R,80}$. Z tabulky vyplývá, že hodnota pro průměrný odtok v suchém roce je

$$Q_{R,80} = 1,730 \text{ l/s}$$

Odtud se dá usuzovat celkový objem vody za suchý rok

$$V_{R,80} = 54\,605 \text{ m}^3$$

Z tohoto objemu je vhodné určit podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku.

Podíl jednotlivých měsíců na dlouhodobém odtoku		
měsíc	podíl [%]	podíl [m ³]
leden	7,5	4095,4
únor	8	4368,4
březen	10	5460,6
duben	9	4914,5
květen	8,5	4641,5
červen	8	4368,4
červenec	8	4368,4
srpen	8,5	4641,5
září	9	4914,5
říjen	9	4914,5
listopad	7,5	4095,4
prosinec	7	3822,4

Obr. 12 - podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v suchém roce

Rozdělení vodnosti v rámci měsíců konkrétního hydrologického roku je sice značně proměnlivé, pro orientační účely však plně postačující.

3.3.3 Ztráty vody z nádrže

Jelikož jsme již předběžně určili velikosti zásobních objemů a průtok pro posuzovaný suchý rok, je třeba ještě vypočítat ztráty vody z nádrže.

Ztráta vody výparem

Zde budu počítat pomocí nomogramu dle ČSN 75 2410. Uvažované profily leží v nadmořské výšce přibližně 210 m n.m. Odečtením z nomogramu vychází hodnota ročního výparu :

$$h = 850 \text{ mm}$$

Při hladině vody v úrovni stanoveného zásobního objemu ve výšce 3 m bude plocha hladiny horní nádrže $P_h = 4\,386 \text{ m}^2$, respektive $P_d = 3\,176 \text{ m}^2$ pro nádrž dolní. Podíl výparu se opět v průběhu roku mění, je nutno tedy přepočítat jednotlivé podíly připadající na konkrétní měsíce a stanovit objem výparu dle plochy hladiny nádrží.

měsíc	výpar [%]	výpar [mm]	horní nádrž	dolní nádrž
			výpar z P_h [m ³]	výpar z P_d [m ³]
leden	2	17	74,56	53,99
únor	2	17	74,56	53,99
březen	4	34	149,12	107,98
duben	6	51	223,69	161,98
květen	11	93,5	410,09	296,96
červen	14,5	123,25	540,57	391,44
červenec	18	153	671,06	485,93
srpen	17	144,5	633,78	458,93
září	11,5	97,75	428,73	310,45
říjen	7	59,5	260,97	188,97
listopad	4	34	149,12	107,98
prosinec	3	25,5	111,84	80,99
Σ			3728,10	2699,60

Ztráta vody průsakem hrází

Jedná se o přibližnou ztrátu vody průsakem při stanoveném příčném řezu hráze (viz příloha č.2) při úrovni hladiny ve výšce zásobního prostoru $h=3\text{m}$.

horní nádrž		
K =	1,00E-09	m.s ⁻¹
H =	3	m
A =	7,4	m
B =	3	m
C =	1,75	m
$m_{\text{vzdušní}}$ =	2,2	-
$m_{\text{návodní}}$ =	3,7	-
λ =	0,44048	
L =	13,47	m
q =	6,062E-08	m ³ .s ⁻¹ .m
O =	580,6	m
$Q_{\text{průsak}}$ =	0,00004	m ³ .s ⁻¹

Obr. 13 - stanovení průsaku pro horní nádrž

Vypočtenou veličinou je celkový průsak hrází [m³.s⁻¹]. Násobením danou časovou jednotkou, tj. $\Delta t = 1 \text{ měsíc} = 2,63 \cdot 10^6 \text{ s}$ získáme měsíční ztrátu vody průsakem pro horní nádrž. V následné uvedené bilanci je zohledněn i fakt, že každý měsíc má vlastní počet dní.

Obdobně tedy stanovíme průsak pro dolní nádrž :

dolní nádrž		
K=	1,00E-09	m/s
H=	3	m
A=	7,4	m
B=	3	m
C=	1,75	m
$m_{\text{vzdušní}} =$	2,2	-
m=	3,7	-
$\lambda =$	0,44047619	
L=	13,47142857	m
q=	6,062E-08	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}$
o=	474,6	m
$Q_{\text{průsak}} =$	0,00003	m^3/s

Obr. 14 - stanovení průsaku pro dolní nádrž

3.3.4 Měsíční bilance

Je použito ohodnocení jednotlivých měsíců nezávisle na sobě, ze kterého lze získat přehled o vodnosti daného území. Výstup dat je dostatečně zřetelný, nebylo tedy nutné použít metodu postupně bilanční.

Měsíční bilance - horní nádrž [m^3]				
měsíc	přítok	výpar	průsak	ΣQ
leden	4095,4	74,56	94,27	3926,58
únor	4368,4	74,56	85,15	4208,73
březen	5460,6	149,12	94,27	5217,16
duben	4914,5	223,69	91,23	4599,58
květen	4641,5	410,09	94,27	4137,11
červen	4368,4	540,57	91,23	3736,64
červenec	4368,4	671,06	94,27	3603,11
srpen	4641,5	633,78	94,27	3913,42
září	4914,5	428,73	91,23	4394,54
říjen	4914,5	260,97	94,27	4559,26
listopad	4095,4	149,12	91,23	3855,06
prosinec	3822,4	111,84	94,27	3616,27

Obr. 15 - měsíční bilance pro horní nádrž

Z tabulky je patrné, že přítok do nádrže i po odečtení ztrát vody je dostatečný. Zásobní prostor horní nádrže $V_{z,h} = 3\,828\,\text{m}^3$, teoreticky by tak mohl být naplněn již v prvním měsíci. Po naplnění horní nádrže přetéká voda ochuzená o ztráty v horní nádrži do nádrže dolní.

Měsíční bilance - dolní nádrž [m ³]				
měsíc	přítok	výpar	průsak	součet
leden	98,6	-	-	-
únor	4208,7	53,99	75,82	4078,92
březen	5217,2	107,98	75,82	5033,36
duben	4599,6	161,98	75,82	4361,79
květen	4137,1	296,96	75,82	3764,34
červen	3736,6	391,44	75,82	3269,38
červenec	3603,1	485,93	75,82	3041,37
srpen	3913,4	458,93	75,82	3378,67
září	4394,5	310,45	75,82	4008,27
říjen	4559,3	188,97	75,82	4294,47
listopad	3855,1	107,98	75,82	3671,26
prosinec	3616,3	80,99	75,82	3459,47

Obr. 16 - měsíční bilance pro horní nádrž

Zásobní objem dolní nádrže $V_{z,d} = 2164 \text{ m}^3$ opět nemá problémy s plněním. V prvním návrhovém měsíci přeteče z horní nádrže nepatrné množství $98,6 \text{ m}^3$, ale po naplnění horní nádrže v únoru již přiteče řádově významnější množství vody a dolní nádrž je tak plněna také. Ve výpočtu nebyly uvažovány ztráty infiltrací do dna, při dané vodnosti a skladbě podloží je však možné je zanedbat. Přebytek vody pokračuje ve své obvyklé trase směrem do řeky Haná, která teče hned za obcí Bezměrov a následně se vlévá řeky Moravy.

3.3.5 Návrh bezpečnostního přelivu

Pro návrh bezpečnostního přelivu je směrodatný kulminační průtok stoleté povodně Q_{100} . Pro lokalitu Bezměrov se jedná o hodnotu $Q_{100} = 6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Přepadová výška spadiště je zvolena hodnotou $0,4 \text{ m}$, zakřivení přelivné hrany pak kružnicí o poloměru $0,2 \text{ m}$.

$$\mu = 0,773$$

(přepadový součinitel pro korunu ve tvaru půlkružnice)

$$m = 0,515$$

(přepadový součinitel)

$$n = 2$$

(počet kontrakcí)

$$k_{po} = 0,1$$

(součinitel tvaru pilířů)

Pro výpočet účinné délky přelivné hrany byl použit vztah

$$b_0 = \frac{Q_n}{m \cdot \sqrt[3]{2g \cdot h^2}} = 10,737 \quad [\text{m}]$$

Po začlenění vlivu kontrakcí a tvaru pilířů vztahem

$$b = b_0 + n \cdot K_{po} \cdot h = 10,817 \quad [\text{m}]$$

byla délka přelivné hrany zaokrouhlena na $b=11,0$ m.

3.3.6 Posouzení retenční schopnosti

V případě požadavku na zvýšení retenční schopnosti, je třeba upravit výškové uspořádání nádrže a redukovat prostor zásobního objemu ve prospěch prostoru retenčního. Všechny transformace pracují s bezpečnostním přelivem a otevřenou spodní výpustí o průměru 600mm.

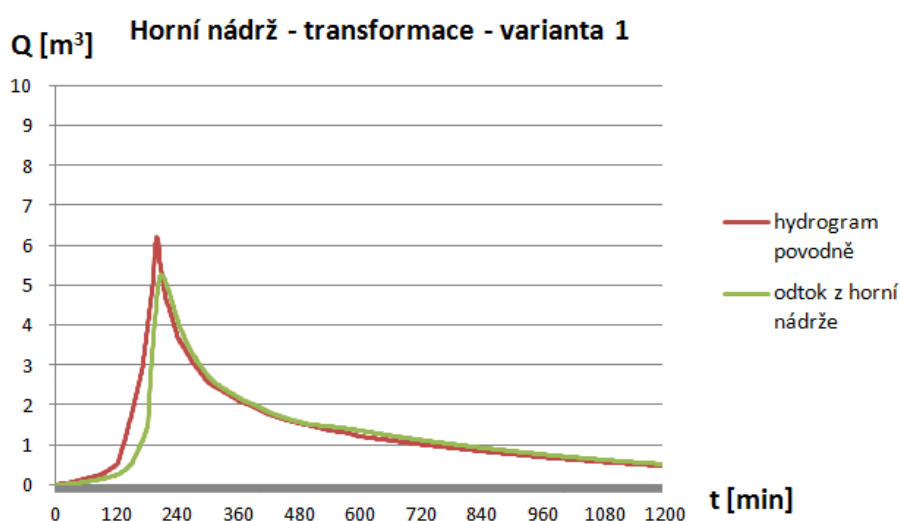
Pro vyhodnocení možností transformace povodňové vlny byly nejprve provedeny simulace pro dvě varianty výškového uspořádání horní nádrže.

Horní nádrž - 1. varianta

Zásobní prostor snížen na výšku 2 m od kóty dna nádrže.

kóta dna nádrže	=	211	m n.m
kóta počátečního plnění	=	213	m n.m
kóta bezpečnostního přelivu	=	214	m n.m
kóta koruny hráze	=	216	m n.m

Obr. 17 - výškové uspořádání - horní nádrž, varianta 1



Obr. 18 - transformace povodňové vlny - horní nádrž, varianta 1

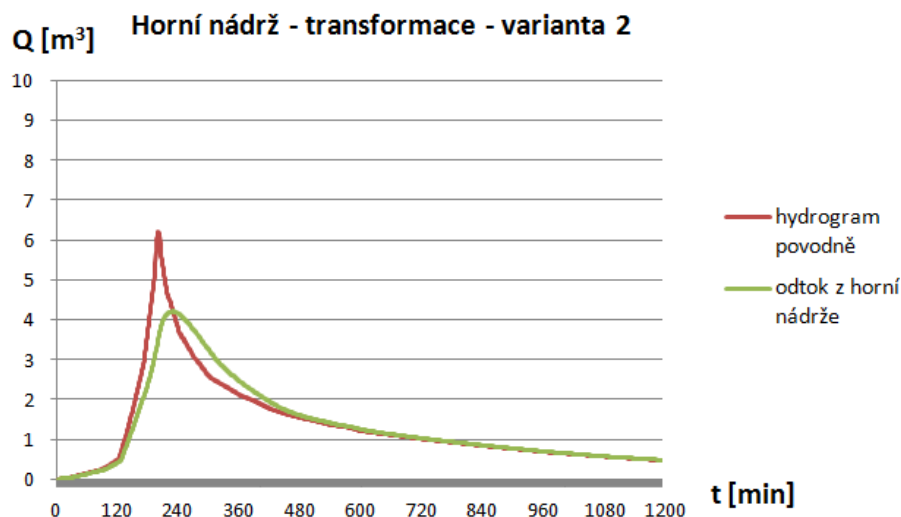
Z grafu je patrné, že došlo k částečné transformaci. Abychom byli schopni určit, jestli je taková transformace dostatečná, museli bychom znát hodnotu neškodného odtoku O_{ne} . Kulminační průtok $Q_{100} = 6,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ byl snížen retenčním účinkem nádrže na $Q_{max} = 5,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Horní nádrž - 2. varianta

Zásobní prostor snížen na výšku 1 m od kóty dna nádrže a jeho velikost je tak prakticky zanedbatelná ($V_{z,h} = 68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

kóta dna nádrže	=	211	m n.m
kóta počátečního plnění	=	212	m n.m
kóta bezpečnostního přelivu	=	214	m n.m
kóta koruny hráze	=	216	m n.m

Obr. 19 - výškové uspořádání - horní nádrž, varianta 2



Obr. 20 - transformace povodňové vlny - horní nádrž, varianta 2

U této varianty výškového uspořádání je retenční účinek dále zesílen a snižuje povodňový průtok na $Q_{max} = 4,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

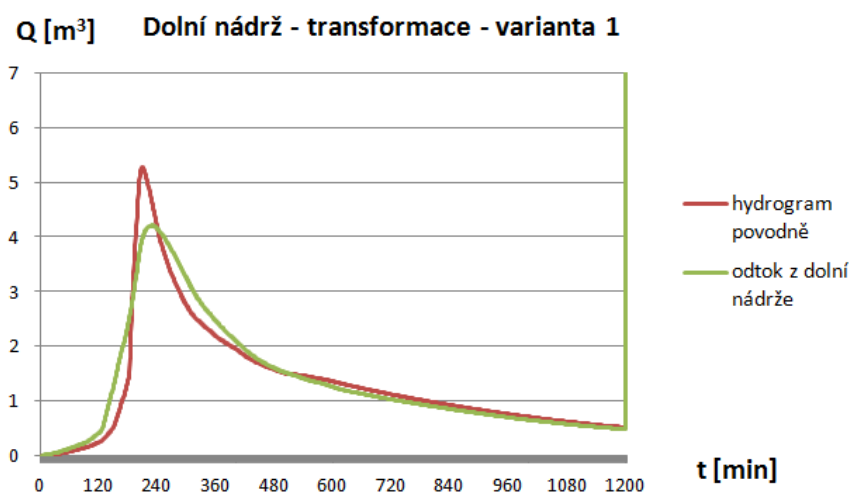
Vzhledem k tomu, že varianta 2 je již poměrně radikálním zesílením retenčního účinku na úkor velikosti zásobního prostoru, pro simulace další transformace povodně pomocí dolní nádrže budeme vycházet z transformovaného odtoku z horní nádrže ve variantě 1, tj $Q_{max} = 5,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, jakožto přítoku do dolní nádrže.

Dolní nádrž - 1. varianta

Pro zvýšení retenční schopnosti byl zásobní prostor snížen na výšku 2 m od kóty dna nádrže.

kóta dna nádrže	=	206	m n.m
kóta počátečního plnění	=	208	m n.m
kóta bezpečnostního přelivu	=	209	m n.m
kóta koruny hráze	=	211	m n.m

Obr. 21 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 1



Obr. 22 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 1

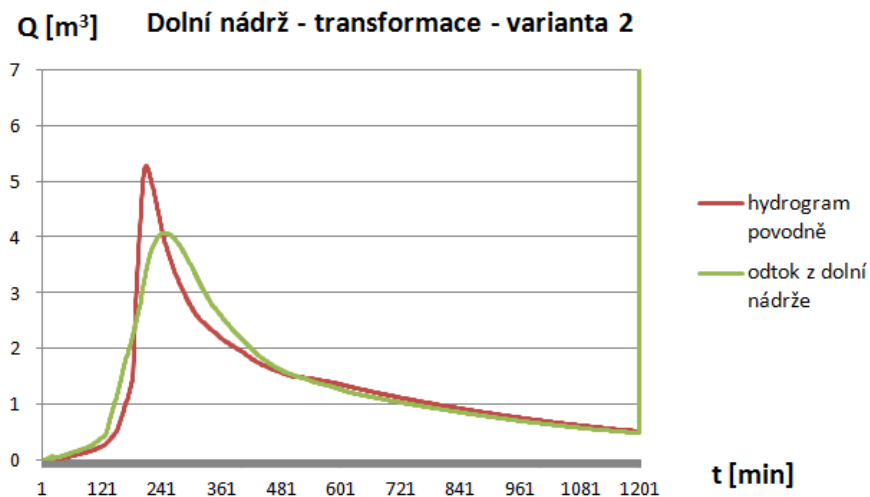
S transformovaným přítokem z horní nádrže dosahuje tato kombinace variant podobného výsledku jako samotná varianta 2 pro horní nádrž. Celkový retenční účinek snížil kulminační průtok při odtoku z dolní nádrže na hodnotu $Q_{\max} = 4,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dolní nádrž - 2. varianta

Retenční prostor byl o další metr zvětšen na úkor zásobního, který byl takřka vynulován.

kóta dna nádrže	=	206	m n.m
kóta počátečního plnění	=	207	m n.m
kóta bezpečnostního přelivu	=	209	m n.m
kóta koruny hráze	=	211	m n.m

Obr. 23 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 2



Obr. 24 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 1

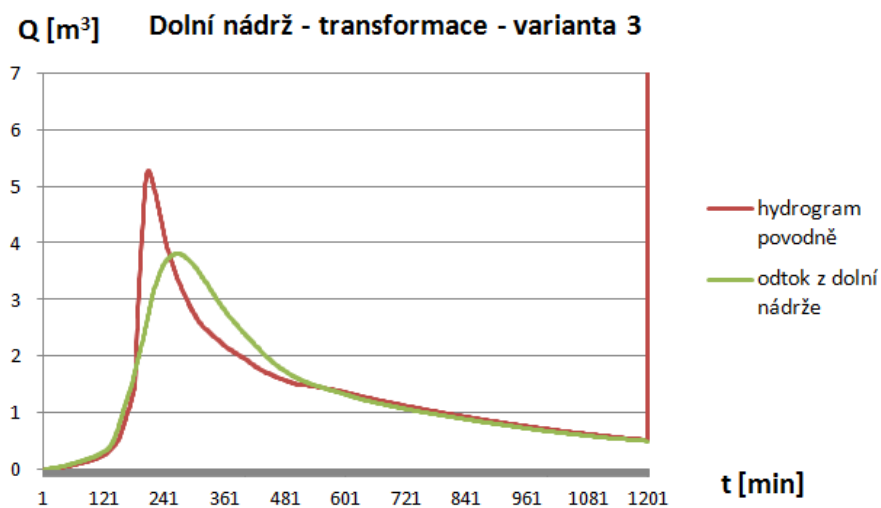
V této kombinaci byl kulminační průtok snížen na $Q_{\max} = 4,07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Dolní nádrž - 3. varianta

Zásobní prostor zůstává zachován na kótě 208 m n.m., přeliv je povýšen.

kóta dna nádrže	=	206	m n.m
kóta počátečního plnění	=	208	m n.m
kóta bezpečnostního přelivu	=	210	m n.m
kóta koruny hráze	=	211	m n.m

Obr. 25 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 3



Obr. 26 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 3

Nejúčinnější kombinace variant, kulminační průtok byl pomocí soustavy nádrží snížen na $Q_{\max} = 3,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4 ZÁVĚR

Byla provedena vodní bilance pro povodí uvažovaného profilu. Po porovnání přítoku a ztrát v nádrži bylo prokázáno, že při návrhovém zásobním prostoru sahajícím do výšky 3 m v obou nádržích je vodnost dostatečná a nádrže je reálné zaplnit a využívat např. jako nádrže závlahové či protipožární. Samy o sobě pak působí jako krajinotvorné, hydromeliorační a protierozní.

V situaci, kdy by překročení neškodného odtoku mělo působit významné ztráty v obci a prioritou by byla retenční schopnost nádrží je třeba upravit výškové uspořádání nádrží na úkor hladiny zásobního prostoru. Bylo simulováno několik řešení, které podaly informace o průběhu transformace povodňového průtoku. Vzhledem ke zřejmému faktu, že objem nádrže prudce roste při zvýšení kóty přelivu a hladiny zásobního prostoru při zachování jejich výškového rozdílu, je pro zvýšení retenčního účinku soustavy nádrží nutné využít plně výškových možností v místě uvažované nádrže.

Požadavky na retenční schopnost soustavy nádrží jsou určeny velikostí neškodného odtoku, který je třeba vyhodnotit především pro úsek od uzávěrového profilu dolní nádrže po místo, kde se potok vlévá do řeky Haná. V závislosti na něm lze pak volit jednu ze simulovaných variant, případně využít přehledu získaného prostudováním výsledků těchto variant a vytvořit řešení přesně na míru daným požadavkům.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOLEŽAL, Petr. Studijní opora - BS53 Rybníky a účelové nádrže, Brno 2007
- [2] VRÁNA, Karel a Jan BERAN. Rybníky a účelové nádrže. Vyd. 3. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7
- [3] ŠÁLEK, Jan. Rybníky a účelové nádrže. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, 2001, 125 s. ISBN 80-214-1806-0
- [4] ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže
- [5] ČSN 73 6815 Vodohospodářské řešení vodních nádrží
- [6] ČSN 73 6850 Sypané přehradní hráze
- [7] KEMEL, Miroslav, Kolář, V. : Hydrologie, ES ČVUT, Praha 1, Husova 5, 1985
- [8] GRUNWALD, Zbyněk. Zpráva o provedeném inženýrsko-geologickém průzkumu na k.ú. Bezměrov, okr. Kroměříž
- [9] STARÝ, Miloš. Nádrže a vodohospodářské soustavy. 2. přeprac. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 165 s. ISBN 80-214-0191-5.

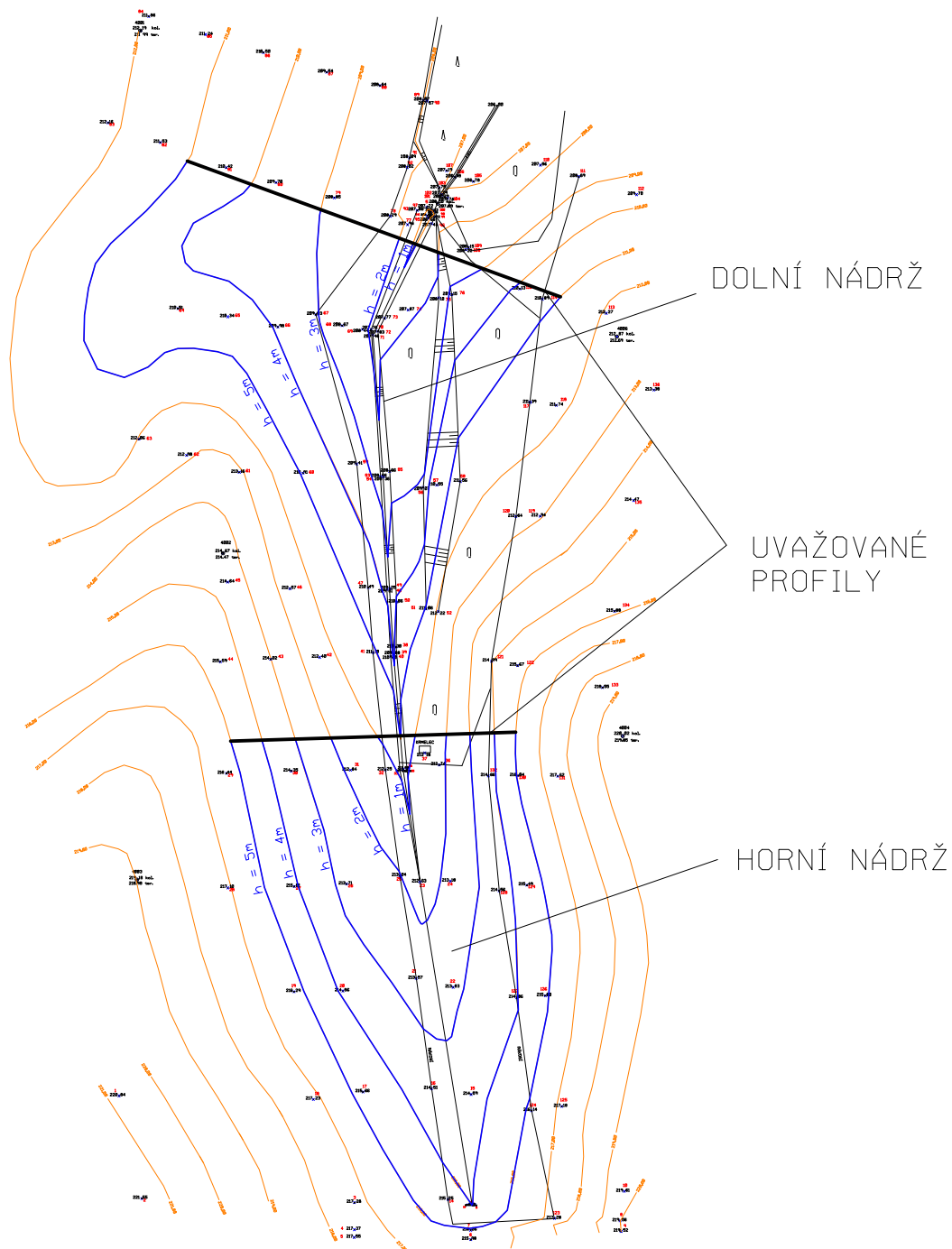
SEZNAM OBRÁZKŮ (TABULEK)

Obr. 1 – Uspořádání prostorů v nádrži	12
Obr. 2 – stanovení výparu dle ČSN 75 2410	13
Obr. 3 - Schéma veličin - homogenní hráz na nepropustném podloží.....	15
Obr. 4 - Stanovení zásobního objemu pomocí čáry překročení m-denních průtoků	15
Obr. 5 - Účinnost retenčních prostorů	17
Obr. 6 - zaměřené území u obce Bezměrov, základní státní mapa 1 : 10 000.....	18
Obr. 7 - Charakteristika konstrukčních zemin	20
Obr. 8 - Batygrafické čáry pro horní nádrž.....	20
Obr. 9 - Batygrafické čáry pro dolní nádrž	21
Obr. 10 - výpočet a grafické vynesení čáry překročení m-denních průtoků.....	21
Obr. 11 Pravděpodobnost překročení průměrného ročního průtoku	22
Obr. 12 - podíl jednotlivých měsíců na celkovém ročním odtoku v suchém roce	23
Obr. 13 - stanovení průsaku pro horní nádrž	24
Obr. 14 - stanovení průsaku pro dolní nádrž	25
Obr. 15 - měsíční bilance pro horní nádrž	25
Obr. 16 - měsíční bilance pro horní nádrž	26
Obr. 17 - výškové uspořádání - horní nádrž, varianta 1	27
Obr. 18 - transformace povodňové vlny - horní nádrž, varianta 1.....	27
Obr. 19 - výškové uspořádání - horní nádrž, varianta 2	28
Obr. 20 - transformace povodňové vlny - horní nádrž, varianta 2.....	28
Obr. 21 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 1	29
Obr. 22 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 1	29
Obr. 23 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 2.....	29
Obr. 24 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 1	30
Obr. 25 - výškové uspořádání - dolní nádrž, varianta 3.....	30
Obr. 26 - transformace povodňové vlny - dolní nádrž, varianta 3.....	30

SEZNAM PŘÍLOH

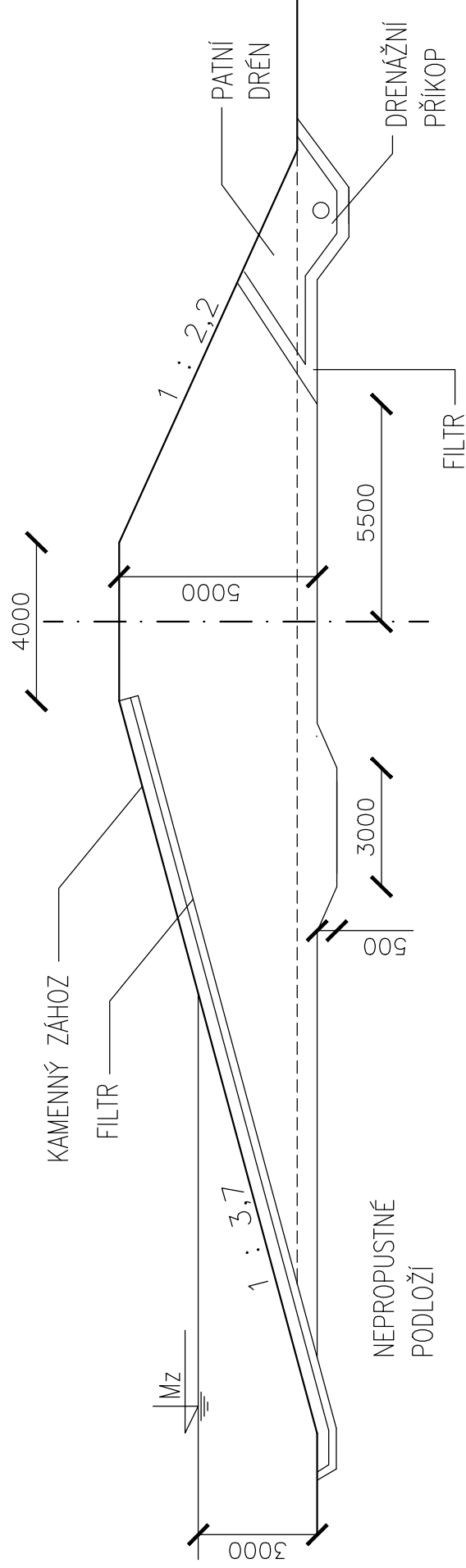
Příloha č.1 - Situace	35
Příloha č.2 - Vzorový příčný řez hráze	36

SITUACE - BEZMĚROV



předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ	
projekt: NÁVRH MALÉ VODNÍ NÁDRŽE			
výkres: SITUACE	číslo: 1	měřítko: 1: 2000	datum: 9.5.2013
jméno studenta: MARTIN GALUŠKA	skupina: B4V3		

VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ



přednět:		BAKALÁŘSKÁ PRÁCE		VŠECH FACULTA STAVITELNÍ V BRNĚ	
projekt:		NAVRH MALÉ VODNÍ NADRŽE		FACULTA STAVITELNÍ	
výkres:		VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ		FACULTA STAVITELNÍ	
jméno studenta:		MARTIN GALUŠKA		FACULTA STAVITELNÍ	
měřítko:		1:200		FACULTA STAVITELNÍ	
datum:		3.5.2013		FACULTA STAVITELNÍ	