

Obsah

1. ÚVOD.....	3
2. CÍL PRÁCE.....	4
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	5
3.1 Definice a účel malých vodních nádrží.....	5
3.2 Technické objekty malé vodní nádrže.....	6
4. METODIKA.....	11
5. CHARAKTERISTIKA POVODÍ TOKU JACARÉ.....	12
5.1 Morfologické poměry a sklonové poměry povodí.....	12
5.2 Hydrologické poměry a hydrografie povodí.....	14
5.3 Geologické a pedologické poměry území.....	14
5.4 Využití území (Land-use).....	15
5.5 Klimatické podmínky území	18
6. DOSTUPNÁ DATA K VYPRACOVÁNÍ STUDIE	19
6.1 Morfologická data.....	19
6.2 Hydrologická data	19
6.2.1 Odhad návrhových průtoků.....	20
6.2.2 Odhad doby koncentrace.....	22
6.2.3 Odhad povodňových hydrogramů	22
6.2.4 Průběhy kulminačních objemů povodňových hydrogramů.....	23
6.3 Geologická data.....	24
7. NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ NÁDRŽE	26
7.1. Popis objektů stavby.....	26
7.1.1 Hráz.....	27
7.1.2 Zátopa.....	28
7.1.3 Vypouštěcí objekt.....	30
7.1.4 Bezpečnostní přeliv.....	32
7.2 Hydrotechnické výpočty a dimenze objektů.....	33
7.2.1 Batigrafické křivky nádrže.....	33
7.2.2 Průsak hrází.....	34
7.2.3 Posouzení spodní výpusti.....	38
7.2.4 Posouzení bezpečnostního přelivu.....	43
7.2.5 Transformační funkce nádrže.....	47
7.2.6 Roční vodohospodářská bilance nádrže.....	49

8. ZÁVĚR.....	52
9. SEZNAM PŘÍLOH.....	53
10. POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY.....	54
11. POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE.....	55

1. ÚVOD

Už od pradávna je člověk silně spojen s krajinou, ve které žije a kterou uměle vytváří. Nejdůležitějším aspektem pro lidský život po celém světě jsou voda, potraviny a energie. Tyto základní potřeby určily směr vývoje lidské činnosti v krajině.

Jedním ze základních činností přetvářející krajinu je zadržování vody, úprava vody a využívání vody k výrobě energie, tyto důvody přinutily člověka k výstavbě vodních nádrží, přehrad a staveb určených ke vzdouvání vodní hladiny na tocích.

Problémem v Brazílii bylo, při realizaci některých vodních děl, vysídlování původního obyvatelstva, zásah do vodního režimu krajiny a v neposlední řadě silného ovlivnění původní fauny a flóry. Dalším problémem v Brazílii je silné odlesňování z důvodu zisku půdy pro zemědělské účely a zisku dřeva, určeného k exportu do jiných zemí. Odlesňování silně ovlivňuje udržitelnost stabilních biotopů, intercepci, transpiraci a silně napomáhá k půdní erozi.

Brazílské hlavní město Cidade de Brasília bylo postaveno uměle v oblasti brazilské vysočiny, tak aby plnilo účel hlavního města, kde budou sídlit všechny vládní instituce, státní univerzity a celkově mělo splnit model moderního bezpečného města, kde nebudou vznikat slumy a chudinské čtvrti. Z tohoto důvodu se město stalo lukrativní destinací pro lidi, kteří zde chtěli začít nový život, najít novou práci, nebo začít podnikat. Jedním z důležitých podnikatelských záměrů bylo právě zemědělství.

Oblast leží v tropické oblasti. Morfologicky se jedná spíše o nížinu, která je výborným prostředím pro zemědělskou výrobu. V oblasti se pěstuje výhradně kukuřice, fazole, dýně, melouny, rýže rajčata a spoustu druhů tropického ovoce (mango, papaya, kaju..). Jelikož se oblast nachází v klimatickém pásu, kde se střídá období dešťů a sucha je zde doporučena určitá vláhová potřeba pro jednotlivé plodiny. Potřeba zásoby vody v oblasti Distrito Federal (dále DF) přinutila člověka k myšlence vybudovat malé vodní nádrže, jejichž zásoba by dokázala pokrýt potřeby pro různé plodiny. Během posledních 50- let se jich vybuďovalo v oblasti Rio Preto (zemědělská oblast DF) kolem stovky. Jejich současným problémem je jejich konstrukční trvanlivost a odolnost vůči zvýšeným průtokům, tyto problémy byly zapříčiněny nedbalostí při výstavbě, především zanedbání hydrauliky geologie a hydrologie. V dnešní době se v oblasti rozvíjí jejich obnova, revitalizace i výstavba nových, tak aby technicky plnily své účely nejen z hlediska zásobování, ale i z hlediska protipovodňové ochrany a ekologie.

2. CÍL PRÁCE

Cílem práce je vypracovat studii výstavby malé vodní nádrže, která by mohla dotovat vodu pro zavlažovací účely v oblasti povodí toku Jacaré, nacházející se v zemědělské oblasti brazilského státu Distrito Federal.

Studie bude mít za úkol vybrat nejvhodnější variantu umístění hráze, výběr vhodného materiálu na její výstavbu a navrhnout nezbytné technické objekty, které budou hydraulicky posouzeny. Dále se tato studie zaměří na efektivnost a ovlivnění průběhu povodní vyskytujících se jednou za N - let a na závěr se určí její roční vodohospodářská bilance, která ukáže efektivnost z hlediska zásobování vodou pro přilehlou zemědělskou oblast.

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Definice a účel malých vodních nádrží

Vodní nádrž je vodní útvar, vzniklý přirozenou, nebo umělou akumulací vody, nebo vymezený prostor vytvořený údolní přehradou, ohrazováním části území a využitím přírodní nebo umělé prohlubně na zemském povrchu, sloužící k hospodaření s vodou, akumulaci, zachycení vody za povodní, snížení transformačního účinku povodňových vln, vytvoření vodního prostředí a k úpravě vlastnosti vody.

(Šálek ,2001 podle ČSN 73 6510)

Malé vodní nádrže jsou součástí krajiny a plní především funkci zásobní, retenční, rekreační, ochranou, chovnou. Malé vodní nádrže taktéž napomáhají ke zvýšení systému ekologické stability v krajině, mohou tedy poskytnout nové útočiště různým druhům rostlin a živočichů.

(10.2)

Dle ČSN 75 2410 jsou malé vodní nádrže brány jako nádrže s těmito parametry:

- objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (hrana bezpečnostního přelivu) není větší než 2 mil. m³.
- největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.

(10.2)

Rozdělení malých vodních nádrží:

Malé vodní nádrže dělíme dle:

1) umístění k povrchu:

- a) hloubené
- b) hrázové
- c) polozapuštěné

2) funkce:

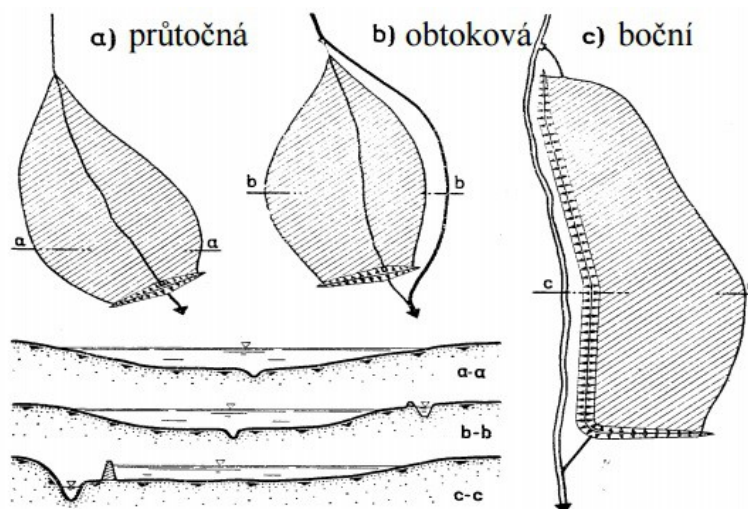
- a) zásobní nádrže
- b) ochranné (retenční) nádrže
- c) rybochovné
- d) rekreační
- e) hospodářské
- f) ekologické
- g) asanační

3) přívodu vody:

- a) průtočné
- b) neprůtočné
 - boční
 - obtokové

4) zdroje vody:

- a) povrchová voda
- b) podpovrchová voda
- c) odpadní voda



Obr. č.1 Rozdělení nádrží dle přívodu vody; (10.2)

(10.2)

3.2 Technické objekty malé vodní nádrže

Mezi základní technické vybavení plnící funkci každé nádrže patří tyto objekty:

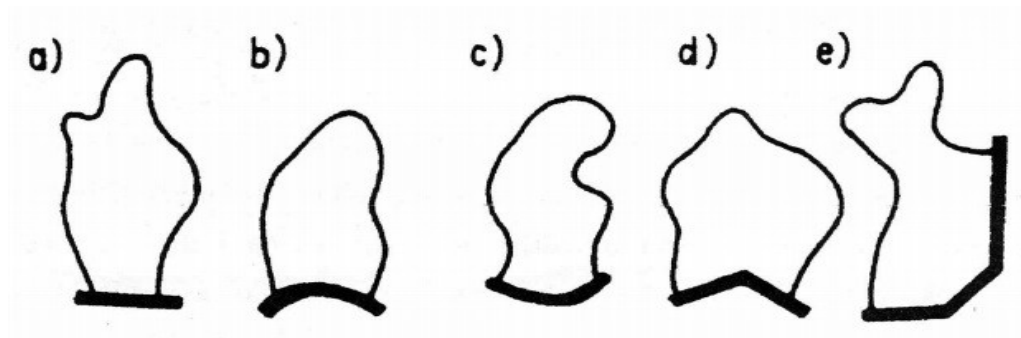
- 1) Hráz
- 2) Výpustný objekt
- 3) Bezpečnostní přeliv (pouze na průtočných nádržích)

Hráz

Slouží k zadržení na-akumulované vody a k vzduť hladiny.

Dle půdorysného tvaru dělíme hráze na:

- a) přímé
- b) vypouklé
- c) vyduté
- d) lomené
- e) nepravidelné



Obr. č.2 Rozdělení dle půdorysného tvaru hrází; (10.2)

V Brazílii jsou nejvíce obvyklé hráze přímého půdorysného tvaru zkonstruované především jako sypané z místního materiálu.

(10.2)

Výpustný objekt

Výpustný objekt je konstrukce, sloužící k regulaci a k manipulaci se zásobním objemem v nádrži. Další jeho funkcí je udržitelnost minimálního požadovaného průtoku ve vodním toku pod hrází. Objekt bývá obvykle umístěn v nejnižším bodě nádrže z důvodu úplného vyprázdnění.

Objekt spodní výpusti se skládá ze dvou základních prvků:

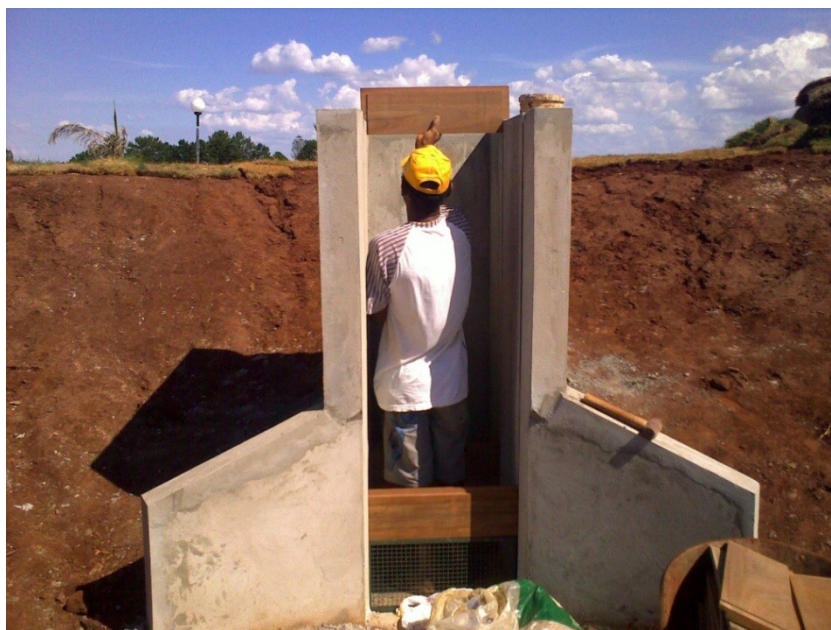
- uzávěr (slouží k uzavření objektu a udržení vody v nádrži)
- odpad (slouží k odvedení vody pod hrází - většinou trubní výpust)

Uzávěry se dělí na:

- 1) lopatové
- 2) čepové
- 3) stavidlové
- 4) šoupátkové
- 5) požerák



Obr. č.3 Uzávěr typu požerák umístěn při konstrukci nádrže (Brazílie); (11.4)



Obr. č.3 Konstrukce požeráku s dvojitou dlužovou stěnou (Brazílie); (11.5)

Bezpečnostní přeliv

Bezpečnostní přeliv slouží k ochraně konstrukce hráze, proti zvýšeným průtokům. V praxi se vyskytuje mnoho typů a druhů přelivů. U malých vodních nádrží v Brazílii se budují nejčastěji tyto typy přelivů:

(10.1)

- 1) odbtokový kanál
- 2) přímý BP (skluz)
- 3) šachtový BP
- 4) kachní zobák

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny některé příklady bezpečnostních přelivů. Na obr. č.4 je zobrazena nádrž s bočním odtokovým kanálem, tento typ přelivu se vyskytuje nejčastěji u malých nádrží v zemědělských oblastech.



Obr. č.4 Boční odtokový kanál; (4)

Na obr. č. 5 je zobrazen příklad šachtového BP, tento typ však není vhodné doporučovat z důvodu možnosti ucpání šachty a následně odpadního potrubí. Dalším nevyhovujícím faktorem je vysoká cena a složitost při výstavbě. Na obr. č. 6 lze vidět častý příklad bezpečnostního přelivu typu kachní zobák, který je v České republice hojně rozšířen, podobný typ se nachází na vodní nádrži Eduino Sbardellini na jihu Brazílie.



Obr. č.5 Příklad šachtového bezpečnostního přelivu; (11.4)



Obr. č.6 Kašnový bezpečnostní přeliv; (11.6)

4. METODIKA

Vlastnímu zpracování studie předcházela úvaha nad poskytnutými daty, které byly dodány jako základní podkladní materiál. Data byla poskytnuta ze tří povodí brazilského státu Distrito Federal (dále DF). Povodí se nacházely v zemědělské oblasti povodí Rio Preto.

Následovala úprava dat a průzkum zemědělských oblastí DF pomocí satelitních snímků a podkladní vrstvy využití území (LAND-USE).

Cílovým zájmovým prvkem byly malé vodní nádrže a vodní toky v zemědělské oblasti povodí Rio Jacaré, které se staly motivem k vypracování diplomové práce. Na základě absencí malých vodních nádrží v povodí Rio Jacaré byl určen cíl vypracovat studii malé vodní nádrže, která by mohla v budoucnu sloužit jako významný dodavatel zásob vody pro zavlažování a také přispět do krajiny jako významný ekologický prvek.

Prvním krokem byla tvorba digitálního modelu terénu. K dispozici byl vrstevnicový plán o intervalu 5 m, z něhož byl vytvořen rastrový model terénu, kde jednotlivý pixel reprezentoval čtverec o rozměru 15 m pro každou stranu.

Dále následoval výběr vhodného profilu na toku, kde se umístí hráz, tak aby se na její výstavbu spotřebovalo co nejméně materiálu a zároveň dokázala zadržet co nejvíce množství vody. K budoucímu umístění výpustného objektu byl vytvořen uzávěrový profil, ke kterému následně odhadnuty návrhové průtoky, doba koncentrace a syntetické hydrogramy povodňových vln N-letých průtoků.

Na základě znalosti návrhových průtoků byly navrženy technické objekty nádrže s ohledem na brazilskou metodiku dostupnou v odborné literatuře a ověřenými zdroji získaných na webu.

DMT byl upraven v programu ArcMap na vrstevnicový povrch o intervalu 2 m a následně převeden jako vrstevnicový povrch do programu AutoCAD, kde byl následně, pomocí manuální interpolace, doplněn o vrstevnice, které dohromady dávaly interval o 1 m.

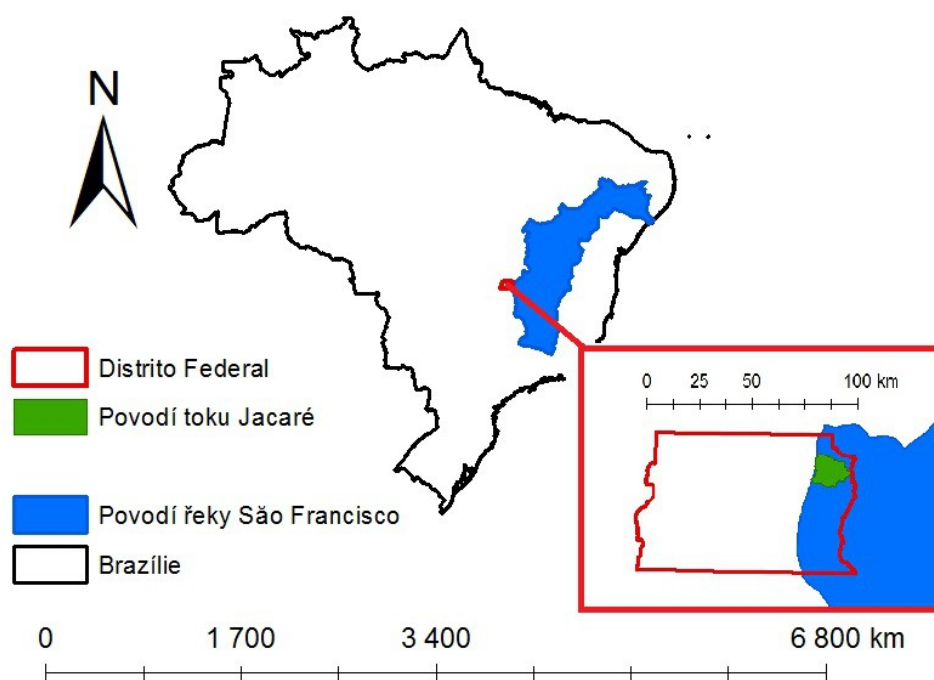
Na základě místních geologických podmínek byl navržen vhodný materiál a geometrie pro výstavbu hráze. Následně byla provedena grafická část v programu AutoCAD: výkres situace, podélný profil hráze, příčné profily hráze, příčné profily zátopy a podélný profil zátopy.

Závěrem studie bylo zjistit roční vodohospodářskou bilanci nádrže a pozastavit se nad efektivitou nádrže při povodních a její vliv na celkový odtok k jejímu uzávěrovému profilu.

5. CHARAKTERISTIKA POVODÍ TOKU JACARÉ

Zájmové území se nachází v Brazílii, konkrétně na území federálního státu Distrito Federal, jehož centrem je hlavní město Brasília.

Povodí toku Jacaré se nachází na severo-východním okraji správního celku hlavního města. Jedná se o neosídlenou oblast, která je z velké části hojně zemědělsky využívána. Oblast povodí spadá do povodí řeky Rio Sao Francisco, která se vlévá do Atlantského oceánu (viz. Obr. č. 7).

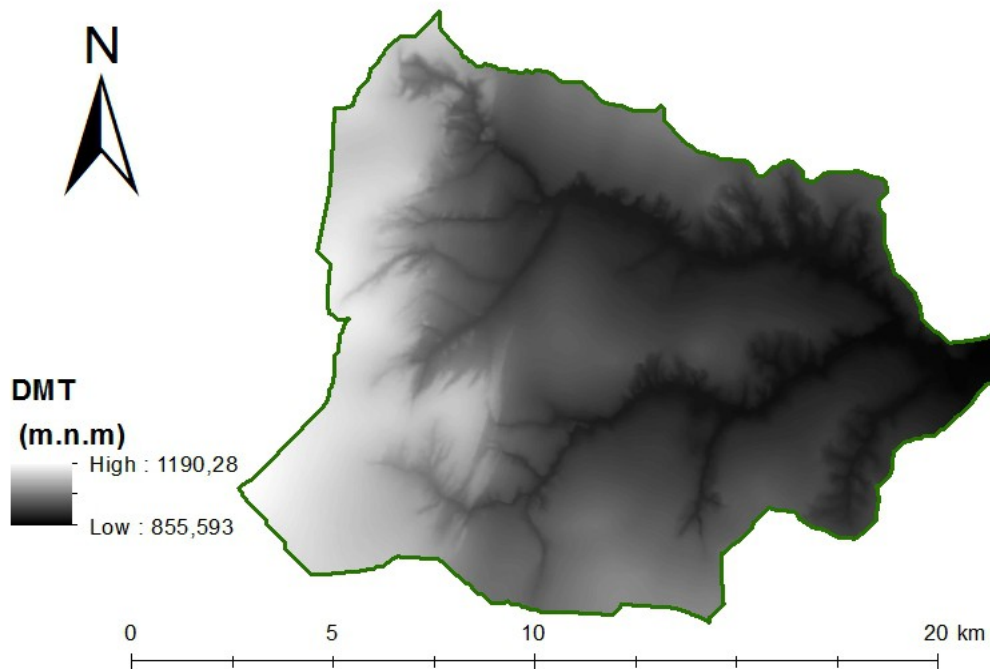


Obr. č.7 Umístění řešené oblasti

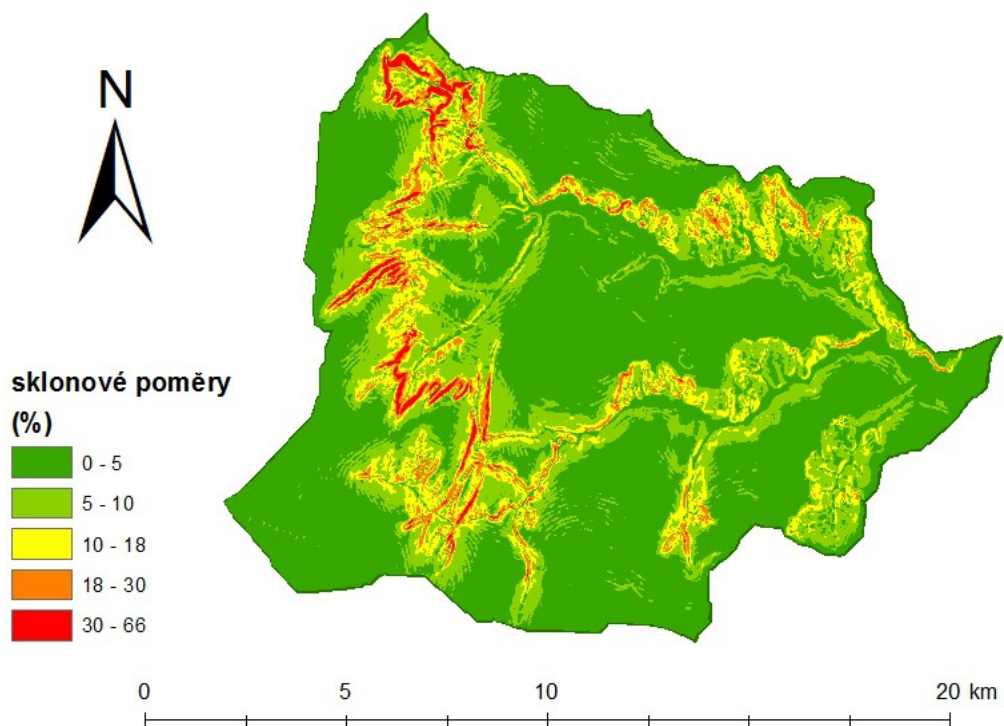
5.1 Morfologické poměry a sklonové poměry povodí

Nadmořská výška povodí se pohybuje v rozmezí od 855,6 m.n.m do 1190,3 m.n.m. Průměrná výška povodí má hodnotu 983 m.n.m (viz. Obr. č. 8).

Území je poměrně nížinaté dominantní sklon se pohybuje v rozmezí od 0% do 5%. V horní části povodí se vyskytují sklony s většími hodnotami, stejně tak jako v oblasti koryt vodních toků (viz Obr. č. 9). Tyto strmé sklony jsou zapříčiněny vodní erozí.



Obr č.8 Morfologie území



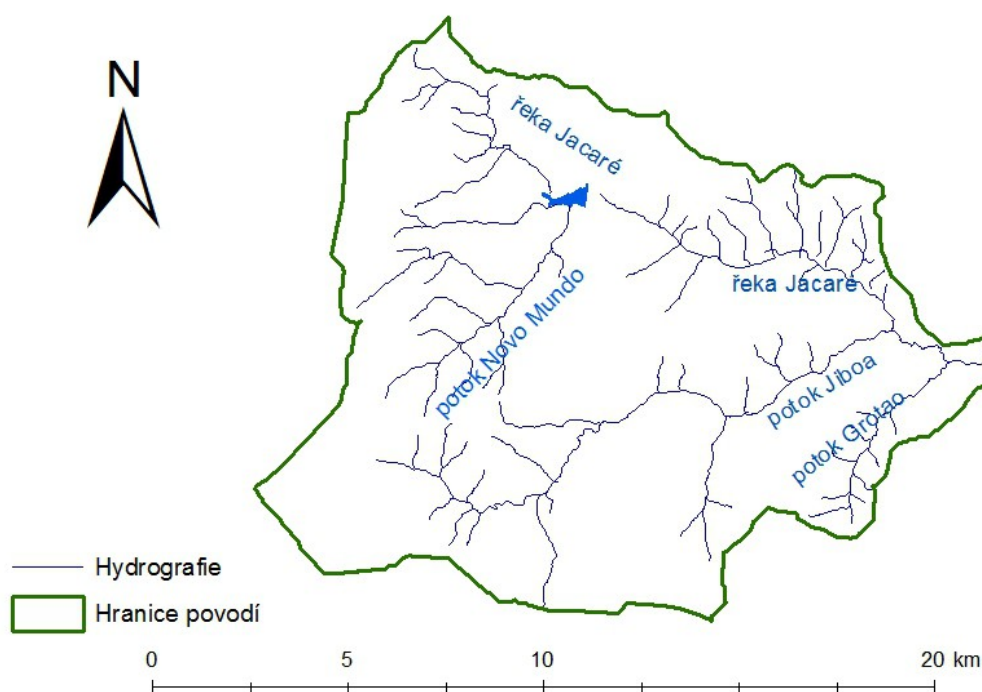
Obr č.9 Sklonové poměry území

5.2 Hydrologické poměry a hydrografie povodí

Povodí má vějířovitý tvar s listovitým uspořádáním říční sítě, hlavním tokem je řeka Jacaré. Povodí má plochu 174,6 km² a obvod 62,5 km.

Na Povodí se vyskytuje malá vodní nádrž, bohužel k nádrži nebyly žádné dostupné informace, které by vedly k přesnější identifikaci jejího účelu. Do nádrže se vlévá potok Novo Mundo, který pravostranným přítokem řeky Jacaré.

Přibližně 2,5 km před uzávěrovým profilem řeky Jacare se do řeky vlévá potok Jiboá a zhruba 1,7 km před uzávěrovým profilem, se do řeky vlévá potok Grotao, oba potoky tvoří její pravostranné přítoky. Ostatní přítoky na povodí jsou bezejmenné (viz Obr. č. 10).



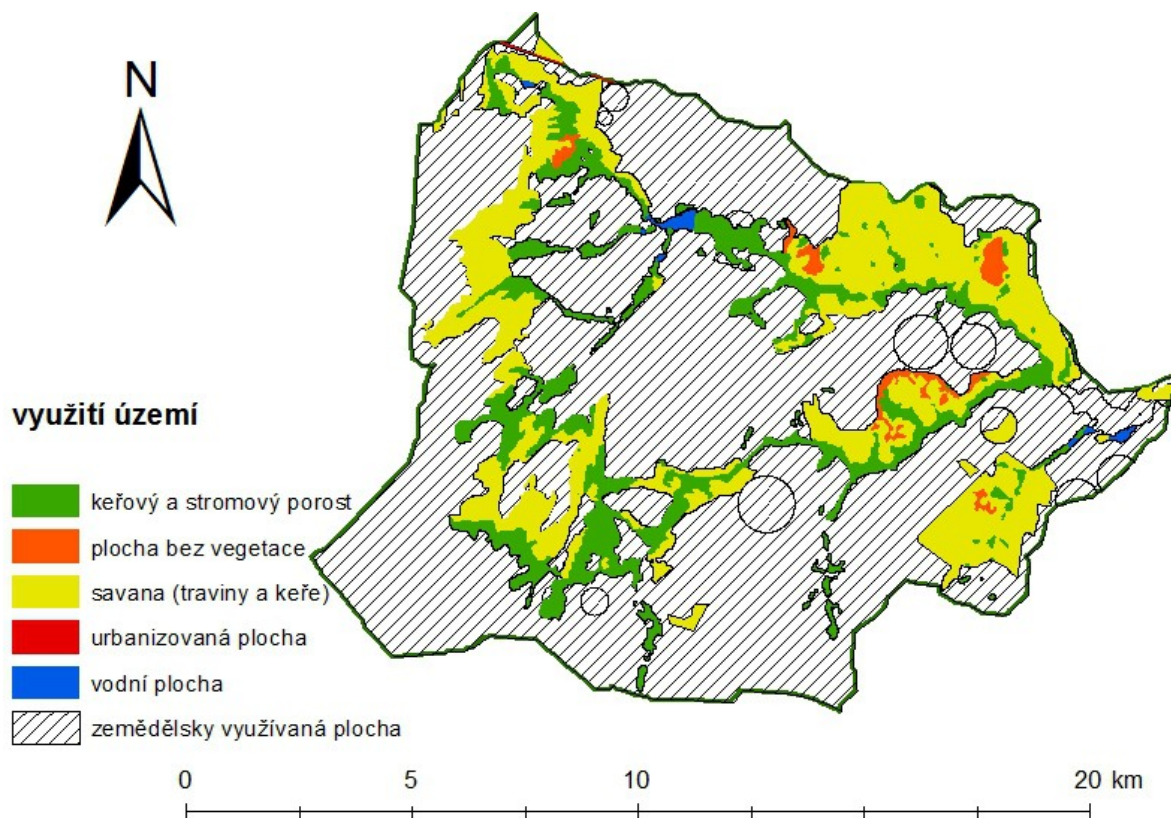
Obr. č. 10 Hydrografická síť území

5.3 Geologické a pedologické poměry území

Povodí leží na brazilské vysočině, na plošině Goiás. Na území se nachází metamorfované horniny (pískovce, prachovce, jílovce). V nivách řek se vyskytují fluviální sedimenty převážně písčito - jílovité textury. Na tomto matečném substrátu se vytvořily červené latossoly, cambissoly a červené argissoly. Půda je zbarvená do oranžově - červená, důvodem je vysoký obsah železitých minerálů.

5.4 Využití území (Land-use)

Území je neosídlené a převážně zemědělsky využívané. Údolnice vodních toků jsou lemovány křovinami a stromovým porostem. Některé plochy jsou pokryté původní vegetací, tzv. brazilskou savanou (portugalsky: Cerrado), jedná se o pozemky, které jsou řídkce zarostlé křovinami a pokryté převážně vysokými travinami, tento krajinný prvek nabízí útočiště mnoha živočichům a přispívá do ekologické stability krajiny (viz. Obr. č. 12).



Obr. č.12 Využití území

pozn: Na objektech kruhového půdorysu se plodiny zavlažují závlahou přes otočný čep (viz. Obr. č.13-14).



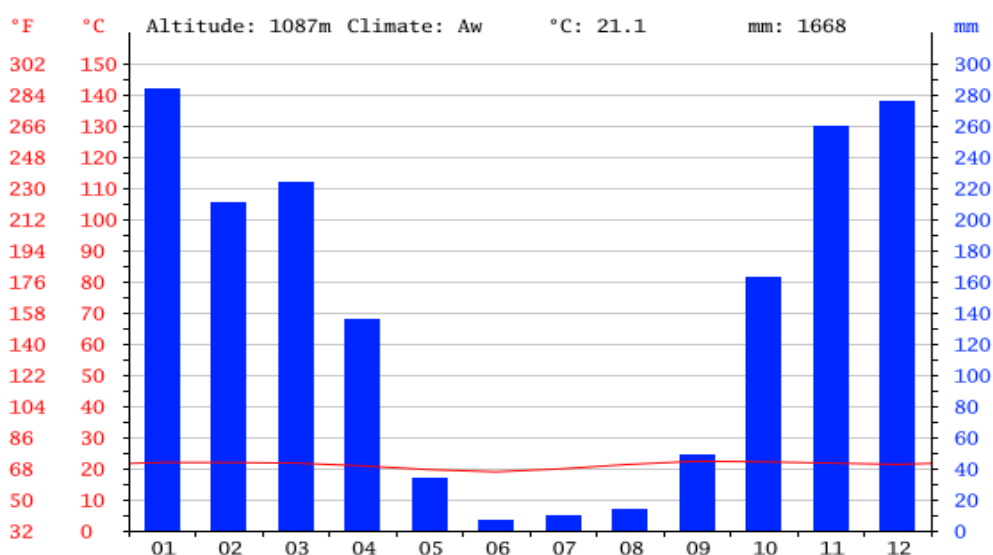
Obr č.13 Zavlažovací systém přes otočný čep; (11.8)



Obr č.14 Otočný čep; (11.2)

5.5 Klimatické podmínky území

Území se nachází na jižní polokouli v tropickém pásu přibližně od 47° 30' do 47° 18' západní délky a od 150° 30' do 150° 40' jižní šířky. V tomto tropickém pásu se střídá období dešťů a období sucha. V zimních měsících (květen – září) zde panuje tlaková výše, která také zapříčiňuje velký teplotní rozdíl během dne a noci. Interval rozdílu teplot se může v tomto období pohybovat okolo 10°C – 20°C. V letních měsících (listopad – únor) je naopak rozdíl nočních a denních teplot poměrně vyrovnaný. Rozdíl je zapříčiněný stálou tlakovou níží během letních měsíců. Nejsuššími měsíci jsou červen a červenec a naopak měsíce s největším úhrnem srážek jsou prosinec a leden. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 21°C a průměrný roční úhrn má hodnotu 1668 mm. Jedná se o území s nerovnoměrným ročním rozdělením srážek (viz. Graf.č.1). Hodnoty na grafu byly naměřeny na meteorologické stanici, která je umístěna v centru města Brasília. Řešná oblast této studie se nachází přibližně 50 km od výše zmíněné stanice.



Graf č.1 Roční klimatická data; (11.7)

6. DOSTUPNÁ DATA K VYPRACOVÁNÍ STUDIE

6.1 Morfologická data

Základním morfologickým podkladem byl rastrový digitální model terénu povodí (dále DMT), jehož jednotlivý pixel reprezentoval rozměr 15x15 m. DMT byl v programu ArcMAP převeden na vrstevnice o jednotlivém intervalu 5 m. Vrstevnice byly pak v oblasti budoucího návrhu nádrže, poupraveny pomocí lineární interpolace, tak aby jednotlivé intervaly byly po dvou metrech.

V mém případě se jednalo o studii, tudíž byla tato data dostatečná. Pro přesnější návrh by bylo zapotřebí geodetického zaměření a terénního průzkumu.

6.2 Hydrologická data

K návrhu každé malé vodní nádrže jsou zapotřebí průtoková data, díky kterým mohou být navrženy jednotlivé technické objekty nádrže (spodní výpusť a bezpečnostní přeliv). V mé zájmové oblasti se nachází hydrometeorologická stanice, která monitoruje průtoky a srážky, k této stanici byly dostupné pouze maximální denní průtoky, naměřené v období 1.5.2009-1.6.2014. Data byla nedostatečná, kvůli potřebě delšího časového úseku monitoringu, tak aby mohly být zjištěny maximální N-leté průtoky, průměrný dlouhodobý průtok a minimální hygienický průtok. Kvůli nedostatečným datům bylo zapotřebí vybrat vhodnou metodiku pro odhad průtoků z povodí.

Pro odhad průtoků z povodí jsou doporučeny tyto metody:

Rational method: $A < 2 \text{ km}^2$ (10.4)

I-PAI-WU: $2 \text{ km}^2 < A < 200 \text{ km}^2$ (10.3)

SCS-CN, CUH: $A > 200 \text{ km}^2$ (10.5)

kde: A je plocha povodí

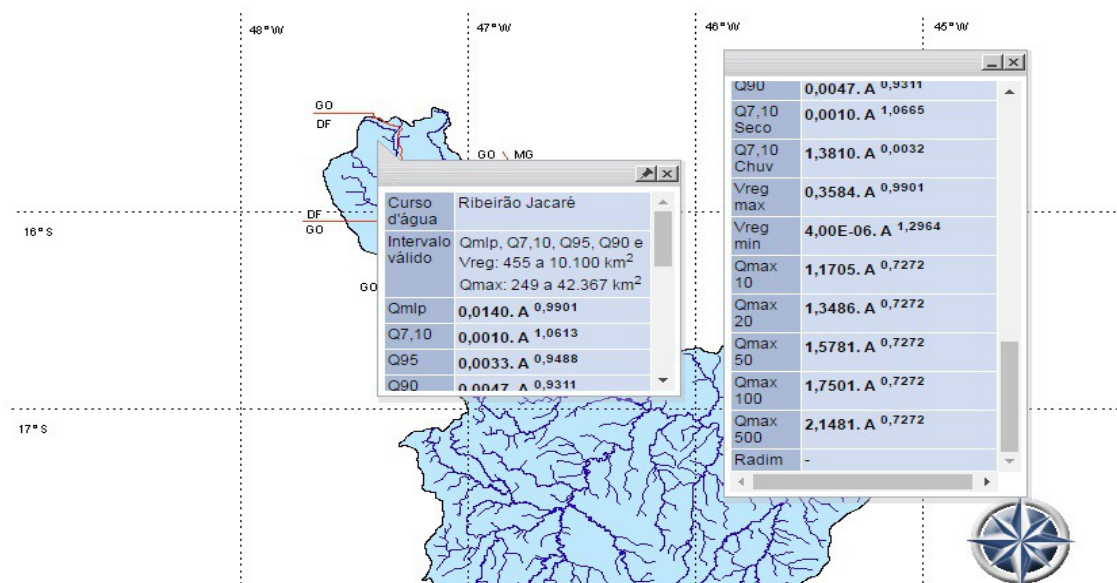
Pro svou práci jsem se rozhodl použít metodu I-PAI-WU, která je doporučena pro urbanizovaná a zemědělsky využívaná území. Tato metoda je v podstatě transformovaná rovnice racionální metody a v Brazílii je vhodná pro odhad kulminačních průtoků z povodí o rozloze větší než 2 km^2 a menší než 200 km^2 . Metoda byla použita pouze k odhadu doby koncentrace a následně k sestavení syntetického hydrogramu, poněvadž návrhové průtoky byly získány z oblastních koeficientů pro jednotlivá povodí. Postup určení návrhových průtoků, doby koncentrace a povodňových hydrogramů je podrobněji popsán v následujících podkapitolách.

(10.3)

6.2.1 Odhad návrhových průtoků

V metodice navrhování malých vodních nádrží ve státě Minas Gerais, která je dostupná na webu, se návrhová průtoková data získávají pomocí oblastních koeficientů pro jednotlivá povodí. Na webu je dostupný program “HIDROTEC“ (Obr. č. 15), kde se všechna potřebná data dají získat. Oblastní koeficienty byly získány díky prostorové extrapolaci dat z dlouhodobému monitoringu na některých řekách, které se nacházejí v blízkosti historických nalezišť nerostných surovin. Má zájmová oblast sice neleží ve státě Minas Gerais, ale koeficienty k povodí řeky Jacaré byly dostupné.

(11.3)



Obr. č.15 Print-screen z programu HIDROTEC; (11.3)

K určení potřebných hodnot průtoků bylo zapotřebí znát plochu sub-povodí k navržené nádrži.

Tab. č.1 Hodnoty koeficientů pro povodí Jacaré

Ribeirao Jacare		
Q (m3/s)	alfa	beta
Qmlp	0,014	0,9901
Q7,10	0,001	1,0613
Qmax10	1,1705	0,7272
Qmax20	1,3486	0,7272
Qmax50	1,5781	0,7272
Qmax100	1,7501	0,7272

Hodnoty průtoků se následně zjistí dle vzorce:

$$Q = \alpha A^\beta$$

kde: A - plocha sub-povodí k navržené nádrži v km²

Qmpl – dlouhodobý průměrný průtok (m³/s).

Q7,10 – průtok, který se vždy objevil 7 dní v týdnu po dobu 10-ti let (m³/s).

QmaxN – N - letý návrhový průtok (m³/s).

Plocha povodí byla určena pomocí programu ArcMap, kde bylo pomocí funkce “WATERSHED“ vytvořeno sub-povodí k uzávěrovému profilu (Obr.16).

Plocha sub-povodí má hodnotu 62,7 km². V tabulce č.2 jsou spočteny hodnoty návrhových průtoků.



Obr. č.16 Sub-povodí k uzávěrovému profilu nádrže.

Tab. č.2 Hodnoty návrhových průtoků

návrhové průtoky	Q (m ³ /s)
Qmpl	0,879
Q7,10	0,053
Qmax10	22,7
Qmax20	25,2
Qmax50	28,3
Qmax100	30,5

6.2.2 Odhad doby koncentrace

Doba koncentrace je doba, kterou potřebuje vodní částice, aby se dostala z nejvzdálenějšího bodu povodí do uzávěrového profilu. Doba koncentrace byla spočtena pomocí metody I-PAI-WU.

(10.3)

Doba koncentrace byla spočtena dle vzorce:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385} \quad (10.3)$$

kde: t_c – doba koncentrace (min)

L – délka nejdelší odtokové linie (km)

I_{eq} – průměrný sklon odtokové linie (m/km)

Tab č.3 Odhad doby koncentrace

L (km)	I_{eq} (m/km)	t_c (min)	t_c (hod)
15,0	20,7	142,4	2,4

6.2.3 Odhad povodňových hydrogramů

Povodňové hydrogramy byly určeny pro jednotlivé N-leté průtoky dle metody I-PAI-WU. Tato metoda zobrazuje hydrogram jako trojúhelník s vrcholem v jedné třetině, jehož vrchol reprezentuje kulminační průtok. Doba koncentrace spočtená v předchozí kapitole je brána jako čas vzestupu kulminace. Čas poklesu kulminace je brán dvojnásobek hodnoty doby koncentrace.

(10.3)

Doba trvání povodně je brána jako: $t_p = 3t_c$ (10.3)

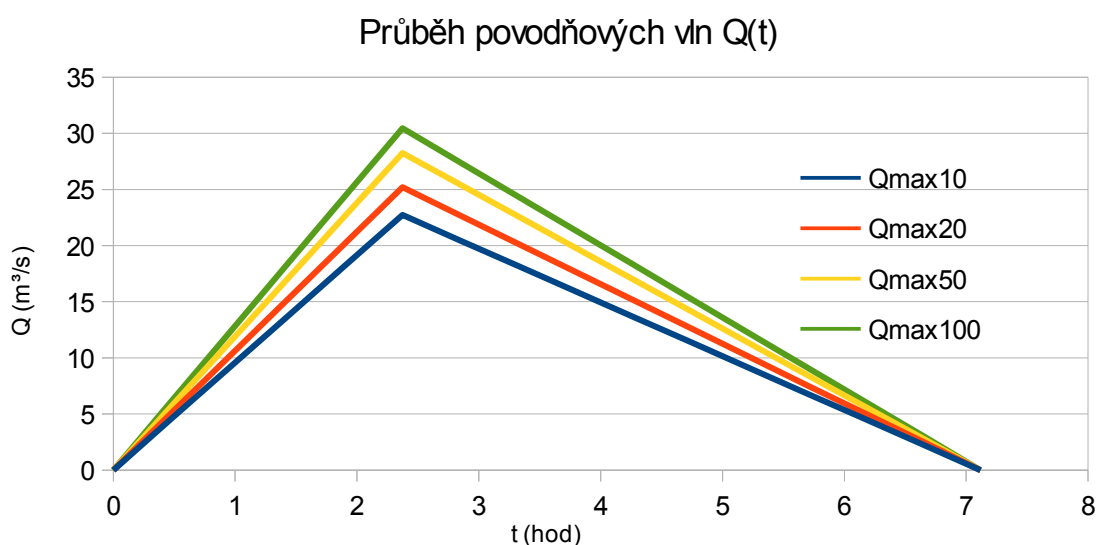
kde: t_p – doba trvání povodně (hod)

t_c – doba koncentrace (hod)

Pro jednotlivé hodnoty N-letých průtoků byly dle této metodiky určeny jednotlivé hydrogramy (Tab.4, Graf.2).

Tab č.4 Numerický průběh povodňových vln

t (hod)	Q10 (m ³ /s)	Q20 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	4,5	5,0	5,7	6,1
0,9	9,1	10,1	11,3	12,2
1,4	13,6	15,1	17,0	18,3
1,9	18,2	20,2	22,6	24,4
2,4	22,7	25,2	28,3	30,5
2,8	20,5	22,7	25,4	27,4
3,3	18,2	20,2	22,6	24,4
3,8	15,9	17,6	19,8	21,3
4,3	13,6	15,1	17,0	18,3
4,7	11,4	12,6	14,1	15,2
5,2	9,1	10,1	11,3	12,2
5,7	6,8	7,6	8,5	9,1
6,2	4,5	5,0	5,7	6,1
6,6	2,3	2,5	2,8	3,0
7,1	0,0	0,0	0,0	0,0



Graf.č.2 Grafický průběh povodňových vln

6.2.4 Průběhy kulminačních objemů povodňových hydrogramů.

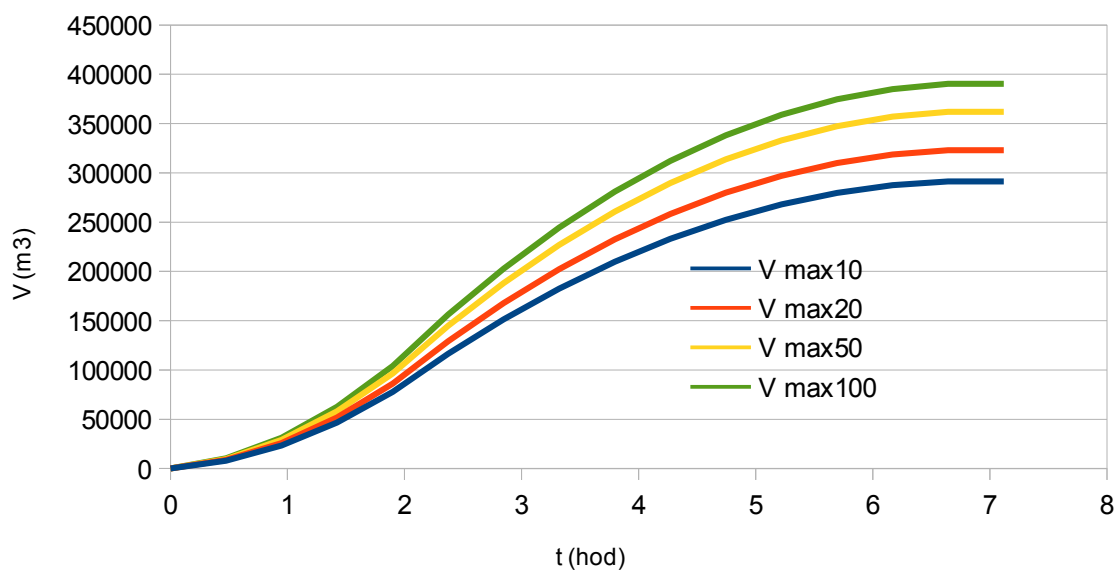
Objem povodňové vlny je brán jako obsah trojúhelníka znázorňující povodňový hydrogram.

Průběhy kulminačních objemů byly spočteny tabelárně a graficky znázorněny (Tab.5, Graf.3).

Tab.č.5 Numerický průběh objemů povodňových vln

t (hod)	V max10 (m ³)	V max20 (m ³)	V max50 (m ³)	V max100 (m ³)
0,0	0	0	0	0
0,5	7 768	8 611	9 653	10 408
0,9	23 304	25 833	28 960	31 223
1,4	46 609	51 665	57 920	62 446
1,9	77 681	86 109	96 534	104 076
2,4	116 522	129 163	144 800	156 114
2,8	151 478	167 912	188 241	202 948
3,3	182 550	202 355	226 854	244 579
3,8	209 739	232 493	260 641	281 005
4,3	233 043	258 326	289 601	312 228
4,7	252 463	279 853	313 734	338 247
5,2	268 000	297 075	333 041	359 062
5,7	279 652	309 991	347 521	374 674
6,2	287 420	318 602	357 175	385 081
6,6	291 304	322 907	362 001	390 285
7,1	291 304	322 907	362 001	390 285

Kumulativní objemy povodňových vln



Graf.č.3 Grafický průběh kulminačních objemů povodňových vln

6.3 Geologická data

Geologická data byla volně dostupná na webu ve formě (shapefile) pro program ArcMap. Pro návrh nádrže je zapotřebí znát místní geologické složení, aby mohla být vybrán vhodný materiál, ze kterého bude vytvořeno těleso hráze. Na zájmovém území se nachází převážně písčito – jílovité a písčito – hlinité zeminy, které jsou vhodným materiálem pro tvorbu homogenní hráze. K důkladnému určení vhodnosti je zapotřebí laboratorní průzkum zeminy, který v případě této studie nebyl možný kvůli nepřístupnosti na dané území.

(11.1)

7. NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ NÁDRŽE

Návrh technického řešení nádrže byl navržen v souladu s doporučenou metodikou navrhování malých vodních nádrží ve státě Minas Gerais v Brazílii. Všechny technické objekty byly hydraulicky posouzeny a navrženy dle výše zmíněné metodiky. Na základě vhodné morfologie bylo vybráno nejvhodnější umístění.

(11.4)

7.1. *Popis objektů stavby*

Nádrž bude průtočná a bude umístěna přímo na potoku Jiboá, který ji bude dotovat společně s levostranným bezejmenným přítokem (více. Obr. č. 17).

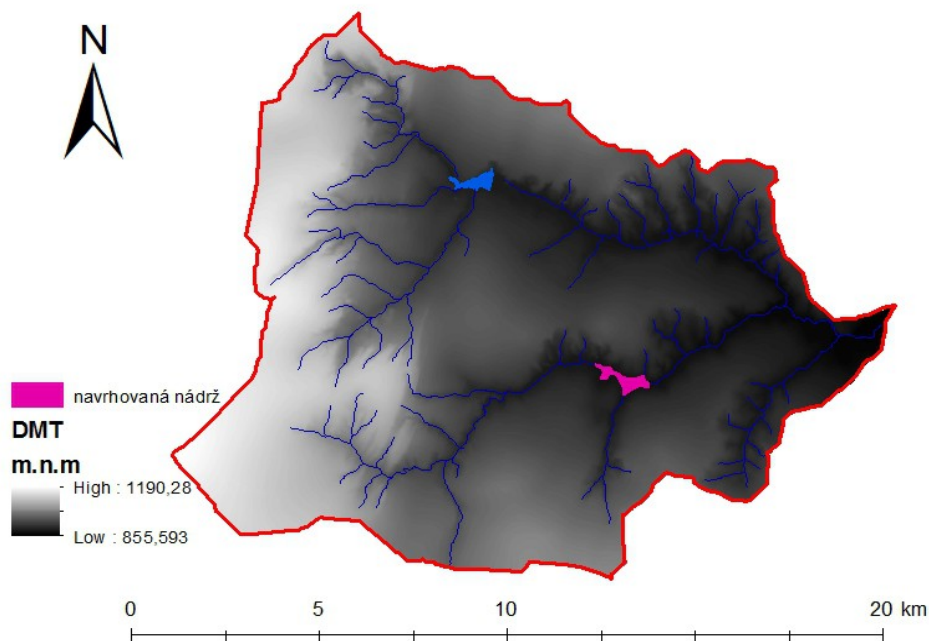
Hráz bude umístěna v nejužším místě profilu, tak aby na stavbu hráze bylo spotřebováno co nejméně materiálu, a tak aby zátopa byla schopna zabrat co největší plochu a tedy i co největší zásobní objem.

Nádrž bude mít maximální hloubku 6,2 m při hladině ovladatelného prostoru, tedy po úroveň přelivné hrany bezpečnostního přelivu.

V tomto nejnižším místě bude umístěna spodní výpust, tak aby byla zde byla možnost úplného vyprázdnění nádrže. Spodní výpust bude nadále sloužit k manipulaci s vodní hladinou a bude zaručovat odvod minimálního ekologického průtoku, který musí být udržen korytě pod nádrží.

Nádrž bude nadále vybavena bezpečnostním přelivem, jehož účelem je ochrana konstrukce hráze proti zvýšeným průtokům.

Na obrázku č. 17 je schématické zobrazení umístění nádrže.



Obr. č.17 Umístění nádrže

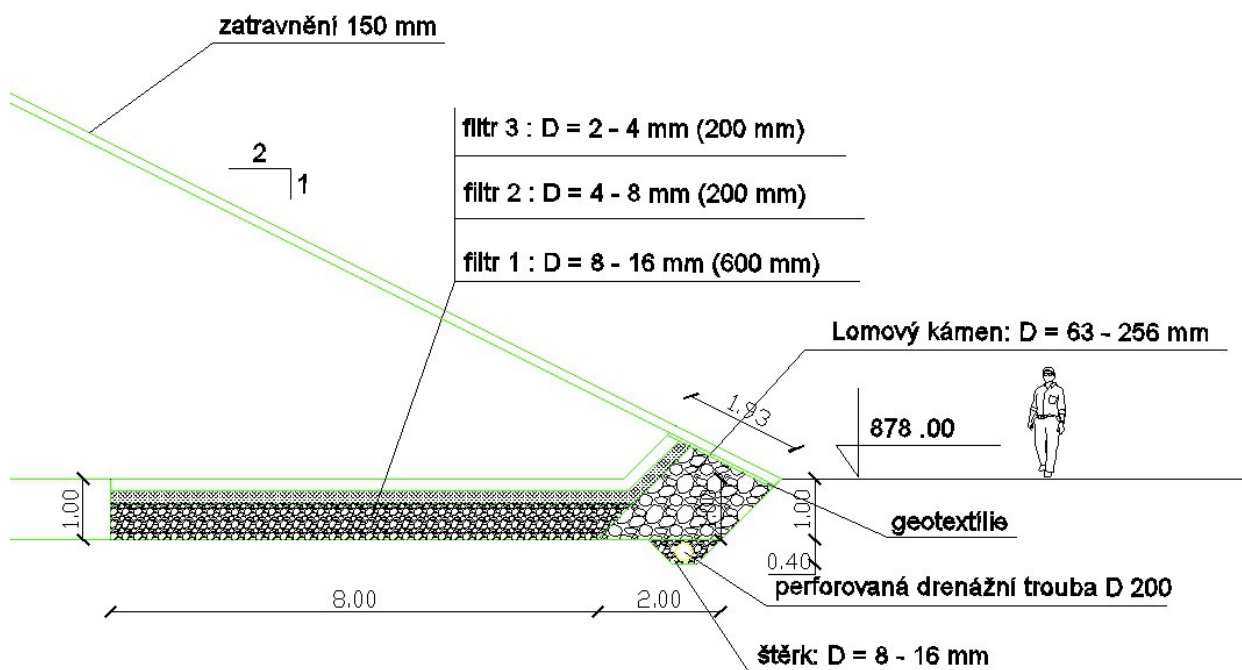
7.1.1 Hráz

Hráz bude zkonstruována z místního materiálu, který se vytěží při úpravě zátopy. Na území se nachází jílovité a prachovité sedimenty. Těleso hráze bude tvořit zhuštěná písčito-jílovitá zemina, která se údajně nachází na řešeném území. Konstrukce hráze bude umístěna na nepropustném jílovém podloží, které by se mělo nacházet cca 1 m pod úrovní zemského povrchu.

Návodní svah bude opatřen základovou opěrnou patkou z lomového kamene o frakci 63 mm - 250 mm. Stejný lomový kámen bude použit na opevnění návodního svahu proti vlnám, které mohou být zapříčiněny silným větrem.

Základová konstrukce vzdušného svahu bude opatřena patním drénem, kde se bude nacházet drenážní konstrukce, která bude mít za úkol odvést vodu prosakující skrz těleso hráze. Konstrukce drenážního systému bude zhotovena z horizontálních vrstev filtrů o různých frakcích, které budou odvádět prosakující vodu do perforovaného drenážního potrubí o průměru 300 mm (Obr. č. 18). Drenážní potrubí bude nadále zaústěno do odpadního koryta spodní výpusti. Patní drén bude stejně jako u návodního svahu stabilizován lomovým kamenem o frakci 63 mm - 250 mm. Vzdušný svah bude osázen travním semenem.

Detail patního drénu je zobrazen na obrázku č.8.



Obr. č.18 Detail drenážního systému u patního drénu

Technické parametry hráze:

- délka koruny hráze - 4,4 m
- délka osy hráze - 192 m
- kóta koruny hráze - 885 m.n.m
- max. výška hráze - 7 m
- sklon návodního svahu - 1:3
- sklon vzdušného svahu - 1:2

7.1.2 Zátopa

Místo budoucí zátopy je pokryto stromovou vegetací, která lemují osu toku. Vegetace bude vymícena pouze v místě, kde je hloubka větší než 1 m. V litorální zóně, která zabírá více než 5% zátopy, bude vegetace ponechána. Odběr zeminy bude proveden pouze v nejhlubší části zátopy, tak aby byla odtěžená zemina použita na konstrukci tělesa hráze.

Odběr orné půdy se neprovádí. Vhodná morfologie území nevyžaduje mnoho zemních prací.

Prostory v nádrži

V nádrži budou navrženy 2 prostory:

V_k – zásobní prostor (po úroveň hrany bezpečnostního přelivu)

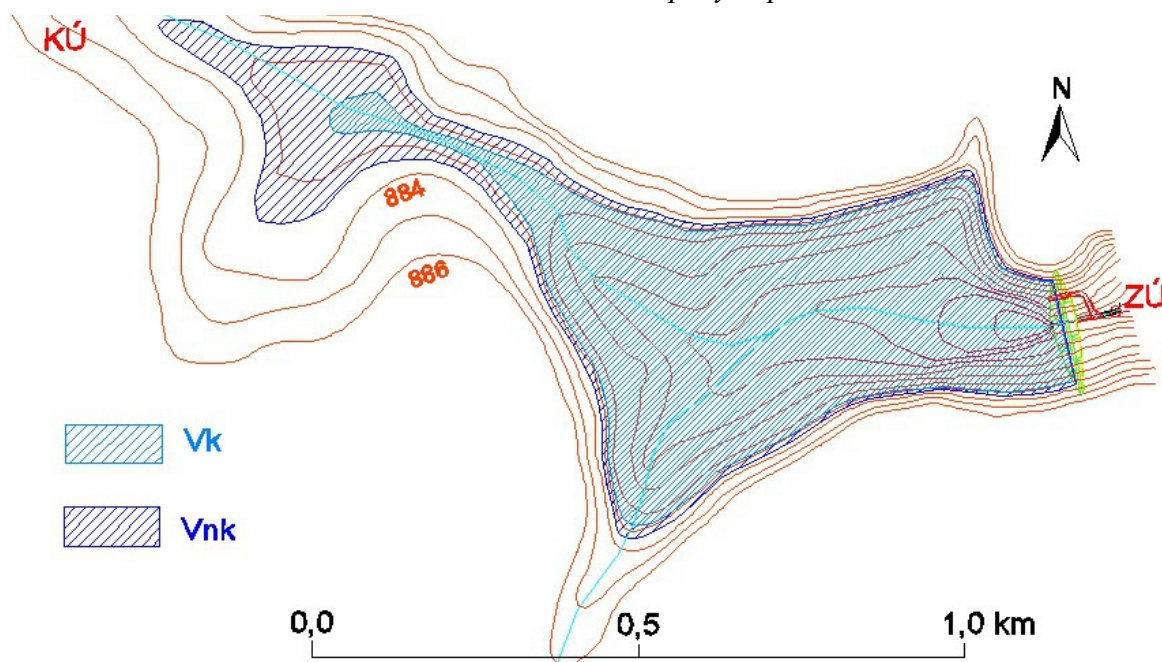
V_{nk} – retenční neovladatelný prostor (od úrovně hrany bezpečnostního přelivu)

(10.2)

Tab č.6 Rozdělení prostorů v nádrži

prostor	nadmořská výška (m.n.m)	max. hĺobka (m)	plocha (m ²)	objem (m ³)
V_k	882,70	6,3	257 310	624 713
V_{nk}	883,40	7	342 101	834 507

Obr. č. 19 Schématické zobrazení zatopených prostorů v nádrži



Objemový ukazatel

Objemový ukazatel je veličina znázorňující ekonomickou efektivitu nádrže, jedná se o poměr objemu zadržené vody a objemu zeminy použité na konstrukci hráze. Optimální hodnota by měla mít větší hodnotu než 10.

Z tabulky č.3 je patrné, že hodnota ukazatele je více, než trojnásobek doporučené hodnoty, tudíž konstrukce bude z ekonomického hlediska efektivní.

$$n = \frac{V_{ret}}{V_{hr}} \quad (10.2)$$

kde: V_{ret} – retenční objem v nádrži (m^3)

V_{hr} – objem zeminy použité pro konstrukci hráze (m^3)

n – objemový ukazatel (-)

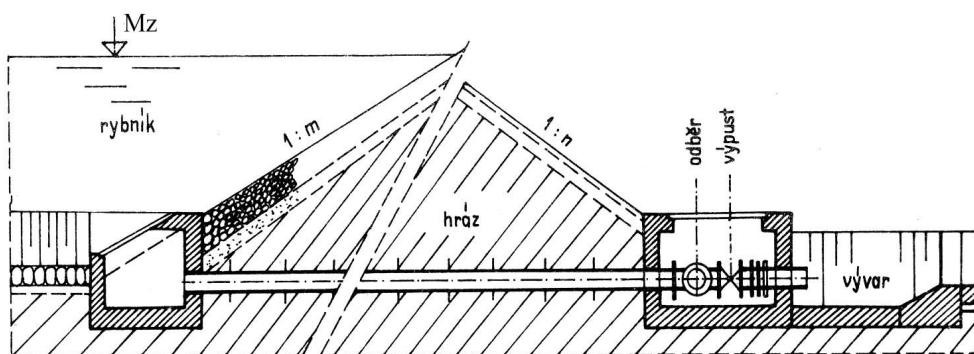
Tab č.7 Výpočet objemového ukazatele

$V_{ret} (m^3) =$	624 713
$V_{hr} (m^3) =$	16 448
$n (-) =$	38

7.1.3 Vypouštěcí objekt

Vypouštěcí objekt slouží k manipulaci s vodní hladinou v nádrži a také k úplnému vypouštění vody z nádrže. Objektem bude spodní výpust se šoupátkovým uzávěrem na vzdušné straně svahu (viz. Obr.10).

Důvodem výběru tohoto typu je citlivá regulovatelnost odtoku a přehled o odběru vody určené k zavlažovacím účelům.



Obr. č.20 Schématické zobrazení zvolené spodní výpusti; (10.2)

Konstrukce bude umístěna v nejhlubší části nádrže, tak aby odpadní trouba kopírovala tok původního koryta. Na návodní straně svahu bude umístěna železobetonová konstrukce čtvercového půdorysu, na kterou bude napojeno ocelové potrubí ($D = 800 \text{ mm}$), zajišťující odtok vody.

V konstrukci budou zbudovány ochranné čelše, které budou chránit odpadní potrubí proti průchodu odpadu naakumulovaného v nádrži.

Na potrubí bude po každých 2 metrech přivařena manžeta chránící troubou proti průsaku vody podél hladné stěny ocelového potrubí. Potrubí bude dlouhé 39 m a bude vyspádované, tak aby mohlo dojít k případnému vyprázdnění nádrže. V potrubí bude docházet k tlakovému proudění a při vyprazdňování k proudění s volnou hladinou. Potrubí bude pod drenážním systémem obaleno těsněním z jílu tak aby nedocházelo k průsaku vody z drenáže.

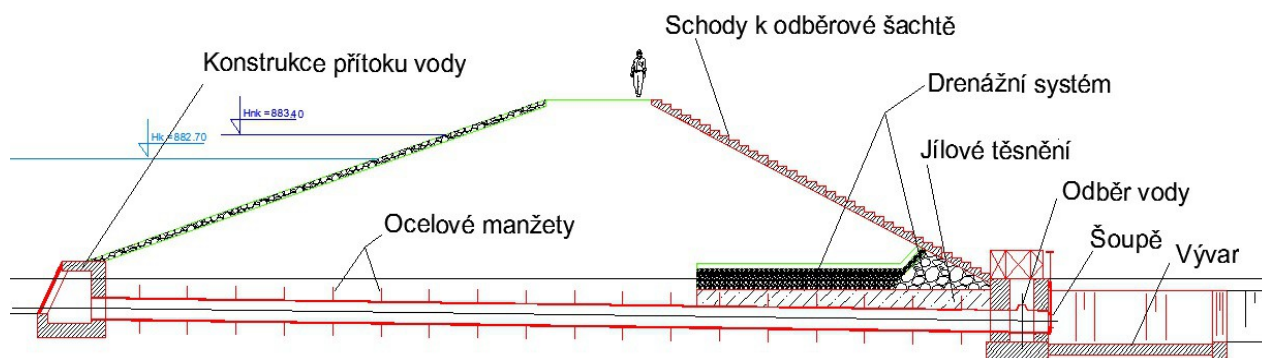
Šachta bude průchodná a opatřena žebříkem k případnému odběru či regulaci odtoku. V šachtě bude umístěn ventil. Proti ilegálnímu vniknutí bude vchod do šachty uzamykatelný.

Odpadní trouba bude vyústěna v železobetonové konstrukci šachty, kde bude napojena na odpadní koryto společně s vývodem drenážního potrubí odvádějícího průsakovou vodu z hráze.

Na konci odpadní trouby bude umístěno šoupě, které bude sloužit k manuální manipulaci s vodou v nádrži. Šoupě by mělo být otevřené na 30%, tak aby se dodržel minimální zůstatkový průtok v korytě.

Odpadní koryto bude vybaveno vývarem, který bude zkonstruován z betonu. Svahy vývaru budou zpevněny betonovou vrstvou a upraveny ve sklonu 1:1. Příčný profil vývaru koryta bude mít lichoběžníkový tvar. Vývar bude nadále napojen na původní koryto.

Na obrázku č.21 je schématické zobrazení příčného profilu návrhu.



Obr. č.21 Schématické zobrazení navržené spodní výpusti

7.1.4 Bezpečnostní přeliv

Hlavním účelem bezpečnostního přelivu je ochrana nádrže před účinky povodňových průtoků, chrání tedy konstrukci hráze proti přelití, nebo protržení. Bezpečnostní přeliv se navrhuje na všech průtočných nádržích. V případě této studie byl zvolen typ přelivu tzv. „kachní zobák“.

Přeliv bude umístěn v přímo v hrázi. Přelivná hrana bude mít zaoblený tvar o poloměru 40 cm a celkovou délku 25 m. Kóta hrany přelivu bude mít nadmořskou výšku 882,70 m a přepadový paprsek bude vysoký 70 cm. Kapacita přelivu bude schopná bezpečně odvést stoletý průtok.

Konstrukce bude zkonstruována z vodostavného betonu (FCK 30 MPa) a vyztužena KARI sítěmi. Dno přelivu bude široké 5,6 m a vyspádované se sklonem 1,5 %. Dno bude umístěno 3,70 m pod přelivnou hranou. Konstrukce bude založena 1 m pod povrchem původního terénu a zasypána zeminou určenou pro konstrukci tělesa hráze. Celková konstrukce přelivu bude mít příčnou délku 36 m. V ústí přelivu bude zbudován otvor pro drenážní odvodnění hráze.

Aby byla zajištěna průchodnost po hrázi, bude potřeba zkonstruovat betonovou lávku se zábradlím, která bude široká 3 m a dlouhá 7,6 m. Lávka bude vložena do konstrukce s přesahem 80 cm.

Voda, která v případě zvýšených průtoků přepadne přes hranu přelivu bude odvedena korytem, které bude taktéž zkonstruované z betonu. Řez koryta bude mít obdelníkový průřez a kapacita koryta by měla být schopna odvést stoletý průtok. Osa koryta bude mít délku 56 m a koryto bude zaústěno do vývaru, který bude umístěn v původním korytě. Vývar bude stabilizován z lomového kamene volně vloženého do zeminy.

7.2 Hydrotechnické výpočty a dimenze objektů

7.2.1 Batigrafické křivky nádrže

Batygrafické křivky nádrže jsou funkce, které zobrazují závislost mezi zatopenou hloubkou v nádrži, zatopenou plochou a zatopeným objemem. Křivky v podstatě popisují tvar zátopy.

Plochy byly naměřeny v programu AutoCAD a objemy tabelárně spočteny v tabulkovém editoru viz. tab. č.3 a graf č.4. V programu ArcMap byla posléze určena pomocí rastrových operací průměrná hloubka nádrže.

Objemy byly spočteny dle následujícího vztahu:

$$dV = (A_{n-1}h_n) + (A_n - A_{n-1})\frac{h_n}{2} \quad V = \sum dV$$

kde: dV – hodnota dílčího objemu (m^3)

A_{n-1} – plocha dna dílčího objemu (m^2)

A_n – plocha hladiny dílčího objemu (m^2)

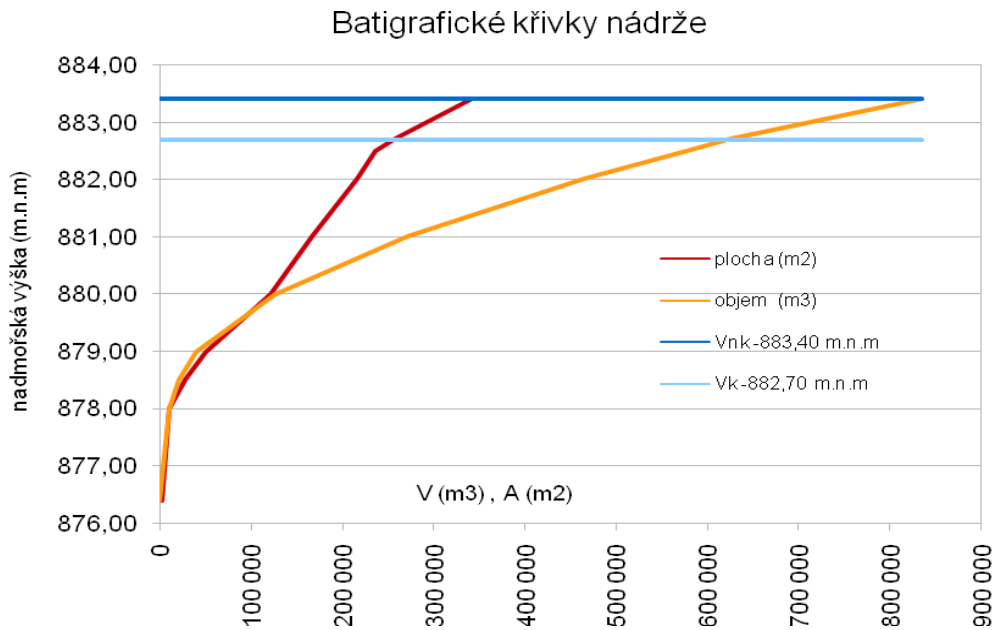
h_n – výška mezi plochou hladiny a dna dílčího objemu (m)

V – celkový objem nádrže (m^3)

Tab č.8 Postup určení zatopených ploch a objemů

kóta hladiny (m.n.m)	plocha (m^2)	hloubka (m)	dV (m^3)	V (m^3)
883,40	342 101	0,70	209 794	834 507
882,70	257 310	0,20	47 437	624 713
882,5	235 969	0,50	113 256	577 276
882,00	217 056	1,00	192 383	464 020
881,00	167 710	1,00	144 706	271 637
880,00	121 702	1,00	86 348	126 931
879,00	50 993	0,50	19 873	40 583
878,50	28 498	0,50	9 850	20 711
878,00	10 902	1,60	10 861	10 861
876,40	2 674	0,00	0	0

průměrná hloubka : 2,9 m



Graf č.4 Čára zatopených ploch a objemů

7.2.2 Průsak hrází

Výpočet průsaku hrází byl proveden Kudinovou metodou, která je popsána ve skriptech *Vrána, Beran 1998 Rybníky a víceúčelové nádrže*.

Rovnice nabízí výsledek ve formě specifického průsaku.

Výpočet dle Kudina byl spočten dle vzorce:

$$q = K \frac{H^2}{2L} \quad (10.2)$$

kde: q – specifický průsak (m²/s)

K – koeficient nasycené hydraulické vodivosti (m/s)

H – průsaková výška (m)

L – průsaková délka (m)

Průsaková délka byla spočtena dle následujícího vztahu:

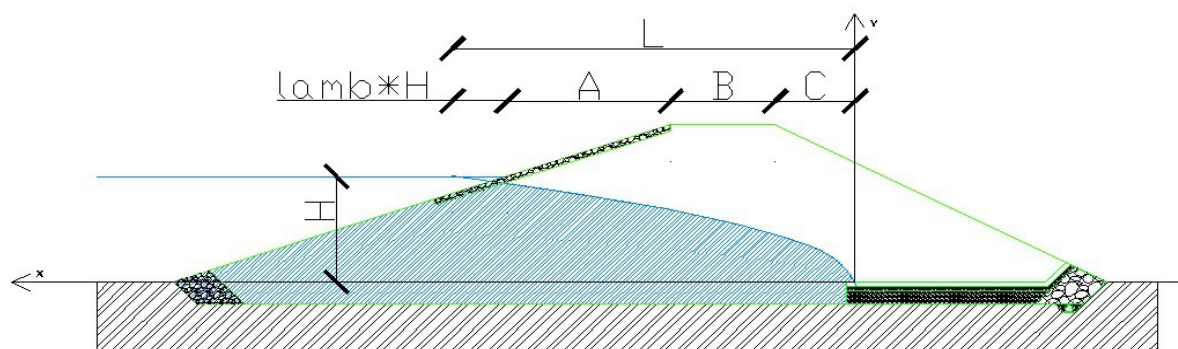
$$L = \lambda H + A + B + C \quad \lambda = \frac{m}{1 + 2m} \quad (10.2)$$

kde: λ – koeficient depresní křivky

H – průsaková výška (m)

m – sklon návodního svahu, (1: m)

A,B,C – dle Obr. č.13



Obr. č.22 Schéma pro výpočet průsaku dle Kudina

Tab č.9 Výpočet specifického průsaku dle Kudina

	hodnota	jednotka
m :	3	-
Lambda :	0,429	-
L :	16,69	m
H :	4,7	m
A :	6,9	m
B :	4,4	m
C :	3,38	m
0,08H :	0,376	m
Lambda*H :	2,014	m
K :	7×10^{-7}	m/s
q:	$4,6 \times 10^{-7}$	m ² /s

Určení tvaru depresní křivky

Depresní křivka udává funkci průsaku skrz hráze určí, která část hráze bude trvale nasycená.

Depresní křivka byla určena dle následujícího funkčního předpisu:

$$y^2 = \frac{H^2}{L}x \quad (10.2)$$

kde: L – průsaková délka (m)

H – průsaková výška (m)

Tab. č.10 Hodnoty depresní křivky

y	X
0,00	0
1,15	1
1,63	2
1,99	3
2,30	4
2,57	5
3,04	7
3,25	8
3,45	9
3,64	10
3,82	11
3,98	12
4,15	13
4,30	14
4,46	15
4,60	16
4,74	17

Návrh drenáže dle Kudina

Pro návrh drenážního potrubí je zapotřebí znát průtokové množství, které bylo získáno přenásobením specifického průsaku délkou hráze.

$$Q = q.Lh$$

kde: Q – průtokové množství (m³/s)

q – specifický průsak (m²/s)

Lh – délka hráze (m)

Tab č.11 Výpočet průsaku skrz hráz

	hodnota	jednotka
délka hráze:	192	m
Q :	0,00008890	m ³ /s

Dále se průtokové množství vynásobilo třemi a odvodila se potřebná plocha, která se získala podělením průtokového množství rychlostí o hodnotě 1,2 m/s.

$$S = 3.Q/v \quad (10.2)$$

kde: S - průtočná plocha

Q – průtokové množství (m³/s)

v – rychlost proudění v potrubí (m/s)

Tab č.11 Výpočet kapacity drenážního potrubí

	hodnota	jednotka
3Q :	0,00027	m ³ /s
v:	1,2	m/s
S :	0,00022	m ²
D :	0,01683	m
NÁVRH : DN 200 – vyhovuje		

7.2.3 Posouzení spodní vypusti

Základním požadavkem pro návrh spodní vypusti byla schopnost odvádět minimální ekologický průtok, který musí být zachován v korytě pod nádrží. Spodní vypust má mít rovněž schopnost úplně, nebo částečně vypustit nádrž.

Typ zvolené vypusti se šoupátkem na vzdušné straně byl posouzen na tlakové proudění dle následujícího vztahu:

$$Q = S_p \frac{(2gH)^{0,5}}{\left(1 + \sum \zeta_i\right)^{0,5}} \quad \zeta_{ti} = \frac{125n^2 l}{D^{4/3}} \quad \sum \zeta_i = \zeta_{ti} + \zeta_{vi} + \zeta_{si} \quad (10.2)$$

kde: Q – průtok odpadním potrubím (m^3/s)

S_p – průtočná plocha (m^2)

g – gravitační zrychlení ($9,81 \text{ m}^2/s$)

D – průměr odpadní trouby (m)

H – rozdíl výšek hladiny a výtoku

n - Manningův drsnostní součinitel (-)

l – délka odpadní trouby (m)

$\sum \zeta_i$ – suma ztrát

ζ_{ti} – ztráta třením

ζ_{vi} – ztráta při vtoku (pro ostrohranný vtok = 0,5)

ζ_{si} – ztráta vnitřního uzávěru (šoupě)

Tab č.13 Hydraulické ztráty

ztráty	
VTOK ζ_{vi}	TŘENÍ ζ_{ti}
0,5	0,994
ŠOUPĚ	
uzávěr otevření (%)	ζ_{si}
0	100000
10	2499
20	203,08
30	50,02
40	21,67
50	10,11
60	5,06
70	3,52
80	2,56
90	1,44
100	0,56

Tab č.14 Parametry spodní výpusti

návrh potrubí DN:	800	mm
	hodnota	jednotka
D :	0,8	m
H2 :	882,7	m.n.m
H1 :	876,32	m.n.m
L :	41	m
n (ocel) :	0,012	-
Sp :	0,502	m ²
max. Q při 100% otevření šoupě:	1,841	m ³ /s
max. Q při 30% otevření šoupě:	0,107	m ³ /s
min požadovaný průtok (Q7,10) :	0,053	m ³ /s

Požadavkem bylo, aby výpust byla schopna udržovat minimální ekologický průtok (Q7,10), a proto je doporučeno otevření šoupěte na 30 %, kde bude při hladině normálního nadržení odtékat průtokové množství 0,107 m³/s, které je dvakrát větší než požadovaný ekologický průtok (Q7,10).

Tlakové posouzení šoupěte

Pro výběr šoupěte je důležitým faktorem tlak, který ovlivňuje manipulovatelnost a odolnost. Výrobce obvykle udává tyto hodnoty ke svým výrobkům.

Tlak působící na šoupě byl spočten dle následujícího vztahu:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \cdot 0,01$$

kde: P – tlak působící na šoupě (bar)

ρ – hustota vody (1000 kg/m³)

h – výška vodního sloupce (m)

Výška vodního sloupce je uvažována při hladině nekontrolovatelného retenčního prostoru, tlaková výška má tedy hodnotu 7,08 m a výsledný tlak, působící na šoupě má hodnotu 0,7 bar.

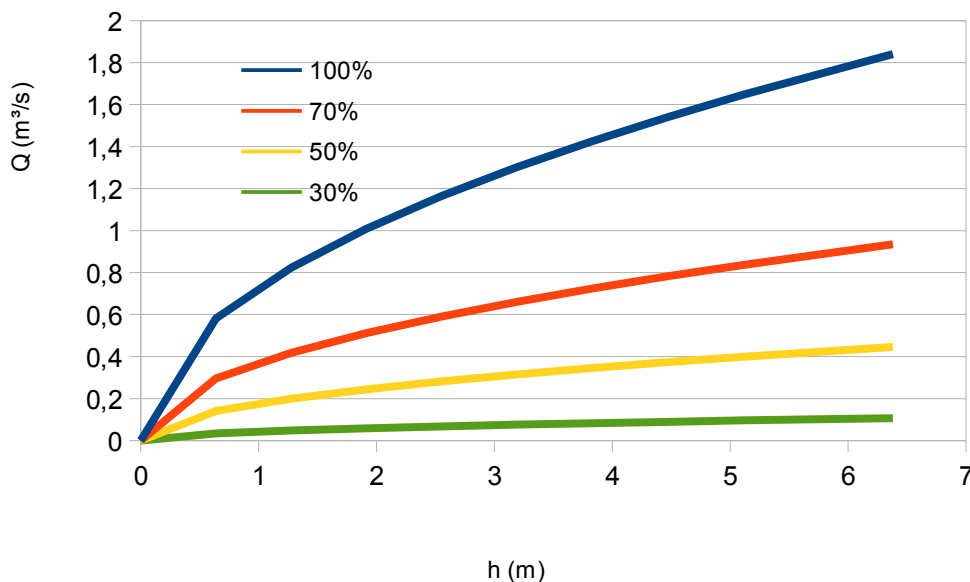
Konzumční křivka spodní výpusti

Konzumční křivka je funkce vyjadřující průběh vodní hladiny závislé na průtoku, funkce byly určeny pro 4 varianty pootevření šoupěte. Křivka byla spočtena pro jednotlivé varianty pootevření šoupěte.

Tab č.15 Numerický průběh konzumční křivky

konzumční křivka spodní výpusti		otevření šoupě			
H	h	100%	70%	50%	30%
(m.n.m)	(m)	Q	Q	Q	Q
		(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
876,32	0	0,000	0,000	0,000	0,0000
876,958	0,638	0,582	0,296	0,141	0,0338
877,596	1,276	0,823	0,418	0,199	0,0479
878,234	1,914	1,008	0,512	0,244	0,0586
878,872	2,552	1,164	0,591	0,282	0,0677
879,51	3,19	1,302	0,661	0,315	0,0757
880,148	3,828	1,426	0,724	0,345	0,0829
880,786	4,466	1,540	0,782	0,373	0,0896
881,424	5,104	1,646	0,836	0,399	0,0957
882,7	6,38	1,841	0,935	0,446	0,1070

Konzumční křivky spodní výpusti



Graf č.6 Průběh funkcí konzumčních křivek pro jednotlivé varianty uzavření šoupěte

Čas plnění nádrže

K určení času plnění byla brána úvaha konstantního přítoku do nádrže a zachování minimálního ekologického průtoku. Z konzumční křivky pro 30% uzavření šoupěte byla určena funkce spojnice trendu, která pak určila jednotlivé průtoky v závislosti na vodní hladině, jejíž hodnoty byly přebrány z batigrafických čar. Tabelární postup je zobrazen v tabulce č.16.

Čas plnění nádrže byl určen z následujícího postupu:

$$dt = \frac{dV}{(dQ_{mpl} - dQ_{min})3600}$$

kde: dt – čas naplnění dílčího objemu (hod)

dQ_{mpl} – průměrný průtok přitékající do nádrže (m³/s)

dQ_{min} – ekologický průtok odtékající z nádrže (m³/s)

dV – dílčí objem v zátopě (m³)

Čas naplnění nádrže byl posléze určen jako součet doby naplnění dílčích objemů a podělen 24, tak aby byl výsledek určen ve dnech.

Tab č.16 Tabelární výpočet doby plnění nádrže

kóta hladiny (m.n.m)	hloubka (m)	dV (m ³)	dQ_{mpl} (m ³ /s)	dQ_{min} (m ³ /s)	dt (hod)
882,7	6,3	47 437	0,88	0,106	17,0
882,5	6,1	113 256	0,88	0,106	40,6
882	5,6	192 383	0,88	0,102	68,7
881	4,6	144 706	0,88	0,091	50,9
880	3,6	86 348	0,88	0,079	29,9
879	2,6	19 873	0,88	0,069	6,8
878,5	2,1	9 850	0,88	0,063	3,3
878	1,6	10 861	0,88	0,055	3,7
876,4	0	0	0,88	0,001	0,0
čas naplnění nádrže:		9	dnů		

Z tabulky je patrné, že nádrž se bude naplňovat 9 dnů, při výpočtu byl zanedbán průsak do dna nádrže. Při výpočtu se uvažovalo plné nasycení dna nádrže.

Čas prázdnění nádrže

Čas prázdnění byl spočítán stejnou metodou jako plnění, avšak při prázdnění se uvažuje otevření šoupátka na 100%.

Tab č.17 Tabelární výpočet doby prázdnění nádrže

kóta hladiny (m.n.m)	hloubka (m)	dV (m ³)	dQ _{mpl} (m ³ /s)	dQ _{min} (m ³ /s)	dt (hod)
882,7	6,3	47 437	0,88	1,842	13,7
882,5	6,1	113 256	0,88	1,830	33,1
882	5,6	192 383	0,88	1,767	60,3
881	4,6	144 706	0,88	1,566	58,6
880	3,6	86 348	0,88	1,362	49,8
879	2,6	19 873	0,88	1,181	18,3
878,5	2,1	9 850	0,88	1,081	13,6
878	1,6	10 861	0,88	0,952	41,7
876,4	0	0	0,88	0,021	0,0
čas vyprázdnění nádrže		12	dnů		

7.2.4 Posouzení bezpečnostního přelivu

Zvolený kašnový bezpečnostní přeliv byl typ „kachní zobák“, který byl posouzen dle vztahu:

$$Q = m \cdot B \cdot \sqrt{2gh} \quad (10.2)$$

kde: Q – průtok přes přelivnou hranu (m³/s)

B – délka přelivné hrany (m)

h – přepadová výška (m)

m – koeficient přelivné hrany (pro zaoblenou hranu: m = 0,515)

g – gravitační zrychlení (9,81 m²/s)

Podmínka posouzení byla, aby kapacita bezpečnostního přelivu dokázala pohltit průtok, který nepřesáhne hodnotu průtoku Q_{max100}, který měl pro daný uzávěrový profil hodnotu 30,46 m³/s.

Tab č.18 Posouzení kapacity bezpečnostního přelivu

bezpečnostní přeliv	hodnota	jednotka
Q _{max100} :	30,46	m ³ /s
B :	25	m
h:	0,7	m
m:	0,515	-
Q _{bp} :	33,40	m ³ /s
Q_{max100} < Q_{bp}	OK	

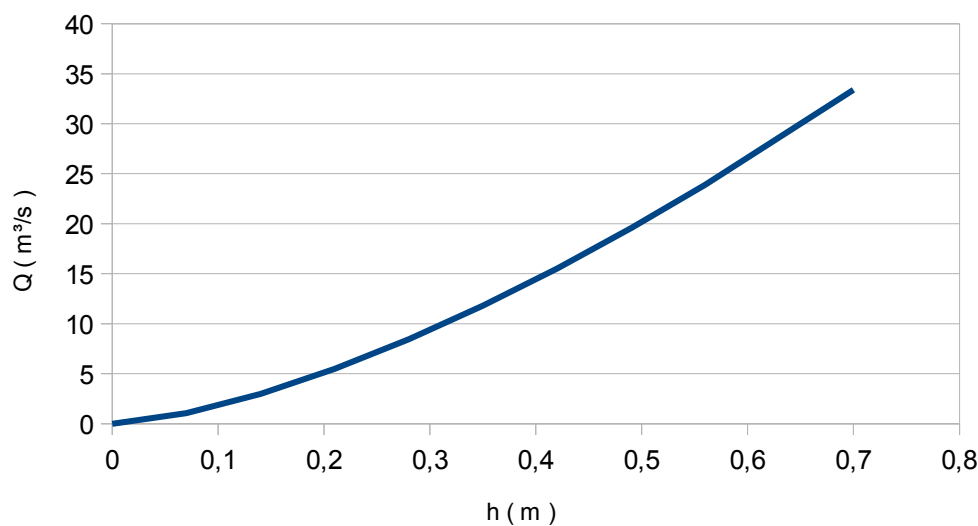
Konzumční křivka bezpečnostního přelivu

Důležitým podkladem pro pozdější posouzení efektivity nádrže během povodňových průtoků bylo určit konzumční křivku bezpečnostního přelivu, která zobrazuje funkci průtoku (Q) v závislosti na výšce přepadu přes přelivnou hranu bezpečnostního přelivu.

Tab č.19 Numerický průběh konzumční křivky BP

h (m)	Q (m ³ /s)
0	0,00
0,07	1,06
0,14	2,99
0,21	5,49
0,28	8,45
0,35	11,81
0,42	15,52
0,49	19,56
0,56	23,90
0,7	33,40

Konzumční křivka bezpečnostního přelivu



Graf č.7 Konzumční křivka bezpečnostního přelivu

Posouzení odváděcího koryta pod bezpečnostním přelivem

Koryto, které bude mít za úkol odvést přepadávající vodu, bylo posouzeno dle Chézyho rovnice pro otevřená koryta.

Rovnice má tvar:

$$Q = S_p C \sqrt{Ri} \quad R = \frac{S_p}{O} \quad C = \frac{1}{n} R^{0,166} \quad (10.2)$$

kde: Q – průtok (m³/s)

S_p – průtočná plocha (m²)

R – hydraulický poloměr (m)

n – Manningův drsnostní součinitel (-), pro beton n = 0,02

i – sklon koryta (-)

Posouzení bylo provedeno pro 5 profilů, které rozdělují úseky koryta dle různého sklonu. Kapacita byla navržena tak, aby koryto bylo schopné odvést stoletý průtok bezpečně do vývaru.

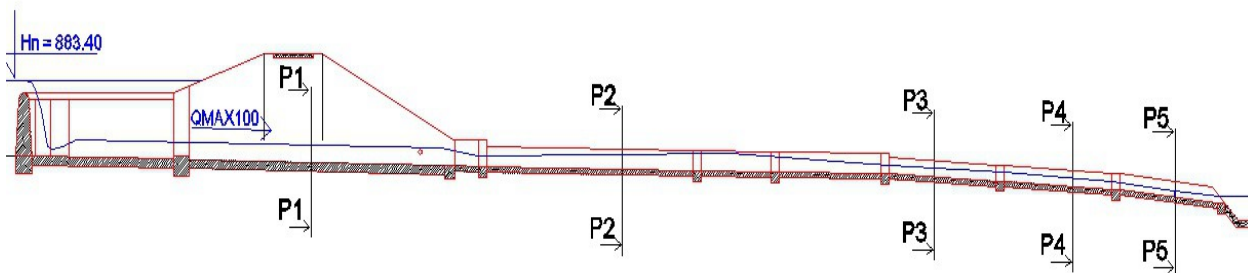
Výpočet je proveden v tabulce č.19 a navržené rozměry koryta v tabulce č. 20.

Tab č.20 Výpočet hladin v korytě při průchodu stoletého průtoku

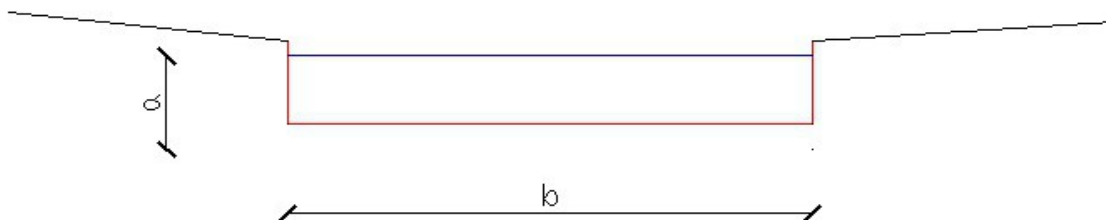
hladiny v korytě pod BP							
profil	I (-)	h (m)	S (m ²)	O (m)	R (m)	C (-)	Q _{max100} (m ³ /s)
P1	0,015	1,003	6,018	8,024	0,75	47,7	30,4
P2	0,012	1,12	6,72	8,96	0,75	47,7	30,4
P3	0,057	0,514	3,084	4,112	0,75	47,7	30,4
P4	0,057	0,515	3,09	4,12	0,75	47,7	30,4
P5	0,103	0,383	2,298	3,064	0,75	47,7	30,4

kde : h – hladina vody při průběhu 100 – leté povodně

Q_{max100} – stoletý průtok



Obr. č.23 Schéma podélného profilu bezpečnostního přelivu a odváděcího koryta



Obr. č.24 Schéma příčného profilu koryta

Tab č.21 Navržené rozměry příčného profilu koryta

navržené průřezy					
profil:	P1	P2	P3	P4	P5
a (m) :	2	1,2	1	1	1
b (m) :	6	6	6	6	6

7.2.5 Transformační funkce nádrže

Nově zbudovaná nádrž významně ovlivní tvar syntetického hydrogramu, který byl vytvořen v kapitole 4.2.3. Vliv na změnu tvaru povodňového hydrogramu má především kapacita bezpečnostního přelivu a objem retenčního prostoru nádrže (neovladatelný reteční prostor). Tento jev se nazývá transformace povodňové vlny.

Transformační funkce vychází ze vztahu:

$$dV = (Q_{in} - Q_{out})dt$$

kde: dV - změna objemu retenčního prostoru v nádrži (m^3)

Q_{in} – přítok do nádrže (m^3/s)

Q_{out} – odtok z nádrže (m^3/s), (přes přelivnou hranu BP)

dt – interval časového kroku (hod)

Objem retenčního prostoru a kapacita bezpečnostního přelivu jsou faktory, které zmírní kulminační průtok a oddálí dobu kulminace, lze tedy říci, že zbudovaná nádrž zmírní účinky povodně v korytě pod hrází. V případě této studie byla transformace provedena pro všechny N-leté syntetické hydrogramy, které byly transformovány tabelárně na základě funkcí získaných díky spojnici trendu z čáry zatopených objemů a z konzumční křivky bezpečnostního přelivu. Vliv odtoku ze spodní výpusti byl kvůli malým hodnotám průtočného množství zanedbán.

Transformace byla provedena v časovém kroku 0,5 hod. Z průběhu syntetického hydrogramu byly získány průběhy dílčích objemů, ze kterých byl díky funkci čáry zatopených objemů neovladatelného retenčního prostoru získán průběh vodní hladiny v nádrži. Na základě funkce získané z konzumční křivky bezpečnostního přelivu byl získán hydrogram odtoku z nádrže.

$$Q_{in}(t) \rightarrow V(t) \rightarrow H(t) \rightarrow Q_{out}(t)$$

$Q_{in}(t)$ – funkce syntetického hydrogramu

$V(t)$ – průběh dílčích objemů

$H(t)$ – funkce nadmořské výšky vodní hladiny získaná z lineární funkce neovladatelného retenčního prostoru $H(V)$

$Q_{out}(t)$ – hydrogram odtoku získaný z funkce konzumční křivky bezpečnostního přelivu $Q(H)$

Tabelární výpočet je proveden v příloze A.9.

Tab č.22 Výsledky výpočtu transformace povodňových vln

	QN max in (m ³ /s)	t kul in (hod)	QNmax out (m ³ /s)	t kul out (hod)	t diff. (hod)	Q diff (m ³ /s)	Q diff (%)
Qmax10	22,7	2,4	15,2	3,8	1,4	7,5	33,1
Qmax20	25,2	2,4	17,2	3,8	1,4	8,0	31,9
Qmax50	28,3	2,4	19,6	3,8	1,4	8,7	30,7
Qmax100	30,5	2,4	21,3	3,8	1,4	9,1	30,0

kde: QN max in – maximální N – letý průtok bez vlivu nádrže

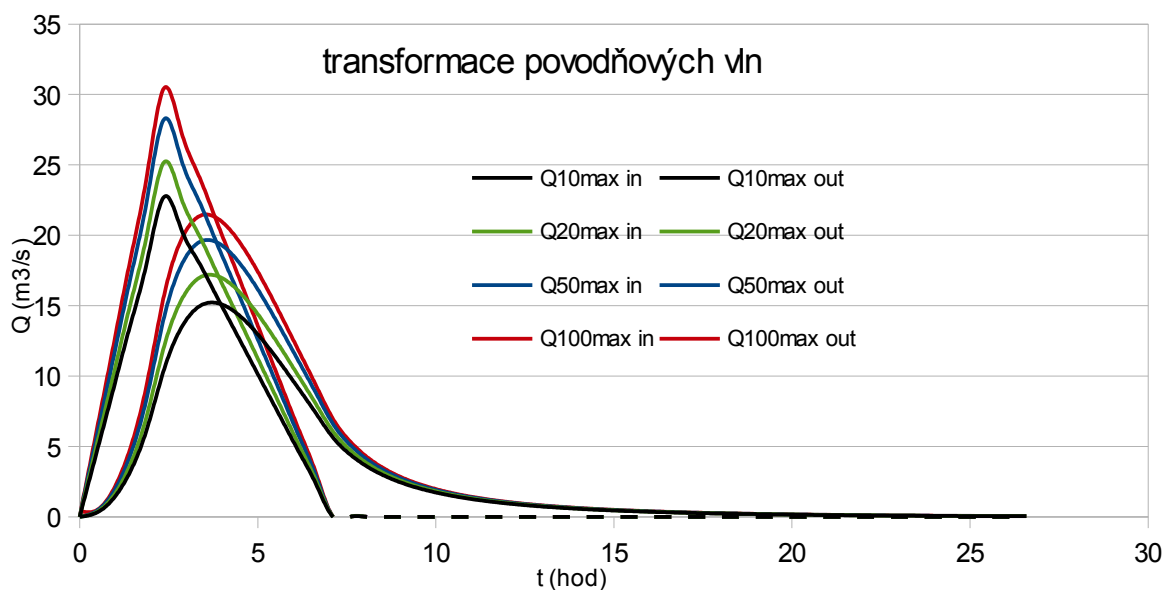
t kul in – čas kulminace povodně (doba koncentrace)

QN max out – transformovaný maximální N-letý průtok

t kul out - čas kulminace povodně s vlivem retenčního prostoru nádrže

t diff – posun doby kulminace díky vlivu nádrže

Q diff – snížení kulminačního průtoku díky vlivu nádrže



Graf č.8 Transformace povodňových vln

Z tabulky č.22 je patrné jak výstavba nádrže výrazně změnil průběh povodňové vlny, snížil kulminační průtoky cca o 30% a oddálil dobu kulminace skoro o 1,4 hod.

7.2.6 Roční vodohospodářská bilance nádrže

Důvod zpracování roční vodohospodářské bilance je spočítat množství vody, který může být v budoucnu využito k odběru vody pro zavlažovací účely.

K určení bilance bylo nejdříve zapotřebí určit ztráty.

Ztráta výparem z vodní hladiny

Výparová výška byla spočtena dle vzorce:

$$H_d = 13,5 \frac{T}{W_r} \quad (10.2)$$

kde: H_d – výparová výška z vodní hladiny (mm/den)

T - průměrná měsíční teplota (°C)

W_r – průměrná měsíční vlhkost

Vzorec dle Mitášové platí pro teploty vyšší jak 5°C, a proto mohl být využit pro brazilské podmínky. Hodnoty průměrných měsíčních teplot a výparů byly získány z měrné stanice ve městě Brasília, které byly získány z denního měření v roce 2015. Hodnoty jsou v tabulce č.23.

Celkový výpar z vodní hladiny za den byl spočten dle vzorce:

$$V_v = H_d \cdot A$$

kde: V_v – výpar z vodní hladiny (m³/ den)

A – plocha vodní hladiny ovladatelného retenčního prostoru (m²).

H_d – výparová výška z vodní hladiny (mm/den)

Celkový roční výpar z vodní hladiny byl určen součtem objemů vypařené vody za měsíc. Výpočet byl proveden v tabulce č. 23.

Tab č.23 Výpočet výparu z vodní hladiny

A = 257 310 m²					
měsíc	W _r (%)	T (°C)	H _d (mm/den)	V _v (m ³ /den)	V _v (m ³ /měsíc)
1	62	26	5,7	1 457	45 158
2	73	24	4,3	1 118	31 311
3	82	23	3,7	953	29 548
4	78	23	4,0	1 024	30 729
5	73	20	3,7	956	29 650
6	64	18	3,8	977	29 309
7	54	19	4,8	1 222	37 889
8	49	23	6,2	1 595	49 447
9	45	27	8,1	2 084	62 526
10	53	28	7,1	1 835	56 890
11	66	28	5,6	1 447	43 421
12	72	25	4,7	1 206	37 390
V _v (m ³) rok =				483 267	

Ztráta infiltrací skrz těleso hráze

Ztráta infiltrací skrz těleso hráze byla spočtena dle vztahu:

$$V_i = Q_i \cdot t \cdot 3,1536 \cdot 10^8$$

kde: V_i – objem ztráty infiltrací za 1 rok (m³)

Q_i – průtok skrz těleso hráze (m³/s)

t – čas (s)

Objem vody přitékající do nádrže

Objem vody přitékající do nádrže byl spočten dle vztahu:

$$V_{in} = Q_{mpl} \cdot t \cdot 3,153 \cdot 10^8$$

kde: V_{in} – objem vody přitékající do nádrže za 1 rok (m³)

Q_{mpl} – průměrný dlouhodobý průtok (m³/s)

t – čas (s)

Objem vody odtékající z nádrže

Objem vody odtékající z nádrže byl spočten dle vztahu:

$$V_{out} = Q_{dem} \cdot t \cdot 3,153 \cdot 10^8$$

kde: V_{out} – objem vody odtékající z nádrže za 1 rok (m^3)

Q_{dem} – požadovaný odtok z nádrže (při 30% otevření šoupěte), (m^3/s)

t – čas (s)

Celková roční bilance byla spočtena dle vztahu:

$$V_{bil} = V_{in} - V_{out} - V_i - V_v - V_{ret} \quad (10.2)$$

kde: V_{bil} – celková roční bilance nádrže za 1 rok (m^3)

V_{in} – objem vody přitékající do nádrže za 1 rok (m^3)

V_{out} – objem vody odtékající z nádrže za 1 rok (m^3)

V_i – objem ztráty infiltrací za rok (m^3)

V_v – výpar z vodní hladiny za 1 rok (m^3)

V_{ret} – zásobního objem nádrže, tedy retenční ovladatelný prostor (m^3)

Tab č.24 Výpočet roční bilance nádrže

	hodnota	jednotka
Výpar z vodní hladiny za rok :	483 267	(m^3)
Přítok za rok :	27 718 043	(m^3)
Odtok z vodní nádrže za rok :	3 375 539	(m^3)
Infiltrace skrz hráz za rok :	2 804	(m^3)
Zásobní objem nádrže :	624 713	(m^3)
Celková roční bilance :	23 234 524	(m^3)

Z tabulky č.24 lze vidět výsledný objem 23 mil. m^3 , který by mohl být využit při čerpání z nádrže k zavlažovacím účelům na období jednoho roku za předpokladu konstantního průměrného přítoku $0,88 m^3/s$ a konstantního odtoku z nádrže $0,011 m^3/s$.

8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vypracovat studii malé vodní nádrže v povodí toku Jacaré ve státě Distrito Federal v Brazílii. V diplomové práci byla popsána lokalita, kterou pokrývá zemědělsky využívaná půda. Účel potencionální nádrže bude zásobování vodou pro zavlažovací účely a ekologický příspěvek do rurální krajiny.

Pro výstavbu nádrže bylo vybráno vhodné místo v souladu s aktuální morfologií. Dále byly určeny návrhové průtoky k uzávěrovému profilu ke kterým se vytvořily syntetické povodňové hydrogramy. na základě určených návrhových průtoků se navrhly technické objekty nádrže (bezpečnostní přeliv, výpustný objekt).

Nádrž byla rovněž posouzena z hlediska efektivity k transformaci povodňových průtoků. Výsledkem bylo snížení hodnot kulminačních průtoků cca o 30 % a oddálení doby kulminace o 1,5 hod.

Na základě dostupných dat byly spočteny hydraulické ztráty a určena roční vodohospodářská bilance, jejíž výstupem byl objem vody 23 mil. m³, tento objem může být ročně využit k zavlažovacím účelům.

9. SEZNAM PŘÍLOH

A. Výpočetní soubor v programu Microsoft Excel

- A.1 - hydrologická data
- A.2 - informace o povodí k uzávěrovému profilu
- A.3 - odhad tvaru povodňové vlny
- A.4 - batigrafické křivky nádrže
- A.5 - hráz
- A.6 - spodní výpust
- A.7 - bezpečnostní přeliv
- A.8 - vodohospodářská bilance
- A.9 - transformace povodňové vlny
- A.10 - transformace - závěr

B. Výkresová dokumentace

- B.1 - situace
- B.2 - podrobná situace
- B.3 - podélný profil situace
- B.4 - zátopa - řezy
- B.5 - podrobná situace hráze
- B.6 - vzorové příčné řezy hrází
- B.7 - schéma výpustního objektu
- B.8 - schéma bezpečnostního přelivu
- B.9 - podélný řez hráze
- B.10 - geometrické příčné řezy hrází

10. POUŽITÁ LITERATURA A PRAMENY

10.1) *Jose Dermeval Saravia Lopes (1997) - Pequenas barragens de terra*

10.2) *Vrána K. (1998): Rybníky a účelové nádrže. Praha: České vysoké učení technické v Praze*

10.3) *Uehara, Kokei I. Métodos de cálculos de vazões máximas, médias e*

mínimas em bacias hidrográficas no Estado de São Paulo. DAEE, 1994.

10.4) *Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. Transactions, American Society of Civil Engineers 20*

10.5) *Soil conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.*

10.6) *Vrána K. - Beran J. (2008): Rybníky a účelové nádrže. Praha: České vysoké učení technické v Praze.*

11. POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE

11.1) <http://geobank.cprm.gov.br/>

11.2) <http://www.irrigacao.net/>

11.3) <http://www.hidrotec.ufv.br/>

11.4) <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>

11.5) <http://www.fao.org/3/>

11.6) http://www.vgsul.sp.gov.br/?page_id=7015

11.7) <http://pt.climate-data.org>

11.8) https://irrigacao.blogspot.cz/2015_07_01_archive.html