

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



**PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA
Univerzita Karlova**

Štěpán Kuba

**Inženýrskogeologické zhodnocení výstavby přehradních děl
v oblasti Krkonoš a Jizerských hor v první čtvrtině 20. století**

**Engineering-geological assessment of the dam construction works in the
area of Giant and Jizera Mountains in the first quarter of the 20th century**

Bakalářská Práce

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Rout

Praha 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 27. 8. 2021

Štěpán Kuba

Tímto bych rád poděkoval svému školiteli Mgr. Jiřímu Routovi za zaštitění práce a za trpělivost při konzultacích. Dále bych rád vzdal svůj dík Ing. Olgerdu Puklovi za poskytnuté informace o rekonstrukci na díle Labská. Děkuji státnímu podniku Povodí Labe, resp. Závodu Jablonec nad Nisou, za historické a technické informace o díle Mšeno. Dále děkuji společnosti EUROVIA CS a.s. za umožnění seznámení se s rekonstrukčními postupy při opravě koruny hráze přehrady Mšeno.

Abstrakt

Práce se především věnuje tzv. Intzeho přehradám vybudovaným v první čtvrtině 20. stol. v oblasti Krkonoš a Jizerských hor. V práci je podána stručná charakteristika přírodních poměrů oblasti a je představena osobnost Ing. Otty Intzeho, dr. h.c. spolu s jeho technickými principy definovanými pro zakládání staveb i přehradních děl. V hlavní části práce je přiblížena realizace přehradních děl a 1 zahraniční příklad kolapsu hráze. Pro jednotlivá vodní díla jsou blíže popsány historické, stavební, technické a inženýrskogeologické aspekty. Závěrem je podáno zhodnocení kvality výstavby a současného stavu.

Abstract

The thesis is mainly about Intze's Dam constructions in 1st quarter of the 20th. Century in the area of Giant and Jizera Mountains. In the thesis are briefly characterized nature conditions. Then is Ing. Otto Intze dr. h.c. introduced and his technical principles, defined for the dam construction foundations are described. Main part of this project is about realization of the reservoirs in the area of interest and 1 example of foreign dam collapse. History, construction, technical parameters and engineering geological aspects of individual dams are described in detail. In the conclusion is an evaluation of the quality and the current state of the constructions.

Klíčová slova: inženýrská geologie, výstavba přehrad, Ing. Otto Intze, dr. h. c., Krkonoše, Jizerské hory

Key words: Ing. Otto Intze, dr. h. c., engineering geology, construction of dams, Otto Intze, Giant Mountains, Jizera Mountains

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Charakteristika zájmového území.....	12
2.1	Krystalinikum Jizerských hor a Krkonoš	12
2.1.1	Geologie	12
2.1.2	Hydrogeologie.....	15
2.1.3	Geomorfologie	16
3	Otto Intze	17
3.1	První Intzeho princip.....	18
3.2	Druhý Intzeho princip.....	18
3.3	Zděné hráze.....	19
3.3.1	Popis částí.....	19
3.3.2	Postup Zakládání	20
3.4	Zemní hráze	22
3.4.1	Popis částí.....	22
3.4.2	Postup zakládání.....	24
4	Příklady Intzeho přehrad v oblasti Krkonoš a Jizerských hor	25
4.1	Přehrady Jizerských hor.....	25
4.1.1	Přehrada Bedřichov	25
4.1.2	Přehrada Harcov	28
4.1.3	Přehrada Mšeno.....	32
4.1.4	Přehrada Souš.....	37
4.1.5	Přehradní dílo na Bílé Desné.....	40
4.1.6	Příklad zahraničního kolapsu hráze Teton (USA).....	44
4.2	Přehrada Krkonoš	47
4.2.1	Přehrada Labská	47

5	Zhodnocení výstavby Intzeho přehrad.....	52
6	Závěr	54
7	Zdroje.....	55

Seznam obrazových příloh

- Obr. Č.1.: Geologická mapa oblasti Krkonošsko-jizerského krystalinika.
- Obr. Č. 2.: Portrét Otta Intzeho (1898).
- Obr. Č. 3.: Nákres řezu zděné přehrady dle druhého Intzeho principu.
- Obr. Č. 4.: Řez hrází bedřichovské přehrady.
- Obr. Č. 5.: Geologická mapa lokality vodního díla Bedřichov.
- Obr. Č. 6.: Dobový řez hrází Harcov.
- Obr. Č. 7.: Geologická mapa okolí přehrady Harcov.
- Obr. Č. 8.: Ukázka historické dokumentace přehrady Mšeno.
- Obr. Č. 9.: geologická mapa okolí přehrady Mšeno.
- Obr. Č. 10.: Příklad sypané hráze, řez konstrukcí hrází přehrady Souš.
- Obr. Č. 11.: Geologická mapa okolí vodního díla Souš a Bílé Desné.
- Obr. Č. 12.: Schéma průřezu hrází na Bílé Desné.
- Obr. Č. 13.: Historická fotografie zachycující přehradní hráz po protržení (1916).
- Obr. Č. 13.: Řez konstrukcí hráze přehrady Teton.
- Obr. Č. 14.: Výřez z geologické mapy Newdale Quadrangle, Fremont a Madison Countries, Idaho (USA).
- Obr. Č. 15.: Ukázka historického příčného profilu přehrady Labská.
- Obr. Č.: 24. Výřez z geologické mapy ČR (ČGS, 2021), znázornění geologické situace v oblasti přehrady Labská.

Seznam tabulek

Tabulka Č.1.: Technické parametry přehrady Bedřichov.

Tabulka Č.2.: Technické parametry přehrady Harcov.

Tabulka Č.3.: Technické parametry přehrady Mšeno.

Tabulka Č.4.: Technické parametry přehrady Souš.

Tabulka Č.5.: Technické parametry přehrady Bílá Desná.

Tabulka Č.6.: Technické parametry přehrady Labská.

1 Úvod

Práce se věnuje přehradním dílům realizovaným v první čtvrtině 20. století na území Jizerských hor a Krkonoš, z geologického pohledu v prostředí krkonoško-jizerského krystalinika. Přehrady, vystavěné v zájmovém území, jsou unikátní technická díla, která dokládají vysokou technickou vyspělost našich předků.

Cílem práce je přiblížit historii jejich vzniku a uceleně představit inženýrskogeologické podmínky výstavby těchto děl. Na počátku jejich výstavby stál renomovaný německý inženýr Otto Intze, jemuž je věnována samostatná kapitola č. 3. V téže kapitole jsou blíže popsány i základní aspekty výstavby zděných a sypaných hrází.

V práci je podána základní charakteristika geologických, hydrogeologických i geomorfologických poměrů zájmové oblasti. Hlavní těžiště práce je zaměřeno na podrobnější popis realizovaných přehradních děl v oblasti. Pro porovnání katastrofického protržení přehrady na Bílé Desné je doplněn příklad kolapsu přehradního díla na řece Teton ve Spojených státech amerických. Jednotlivá díla jsou stručně představena, následně zasazena do historických kontextů a popsána z technického i inženýrskogeologického hlediska. V poslední řadě je zhodnocena výstavba Intzeho přehrad z pohledu dnešní inženýrské geologie a stavitelství. Popsány jsou i tehdejší možnosti a podmínky výstavby.

2 Charakteristika zájmového území

2.1 Krystalinikum Jizerských hor a Krkonoš

Krkonošsko-jizerské krystalinikum leží na území Jizerských hor a Krkonoš. Jedná se o dílčí jednotku lugsické oblasti Českého masivu. Na severu hraničí s metamorfovanými komplexy kačavského krystalinika a na severozápadě s horninami lužického plutonu. Na jihu až jihovýchodě je překryto permokarbonskými uloženinami a jihozápadní část hraničí s českou křídovou pánví. Základní geologická stavba je vyobrazena na přehledné situaci v obrazové příloze č. 1. na straně 14.

2.1.1 Geologie

V krkonošsko-jizerském krystaliniku se nachází jak slabě až středně metamorfované geologické jednotky, tak i plutonické a intruzivní horniny. Jejich stavba vznikla polyfázovou deformací spojenou především s variskou orogenezí (Chaloupský, 1989).

Jádro krystalinika, označováno jako velkoúpská skupina, je předsvrchnoproterozoického stáří. Tvoří ji mocný komplex svorů a fylitů s výskytem kvarcitových, erlanových, amfibolitových, grafitických a meta-karbonátových vložek. Horninové celky velkoúpské skupiny jsou značnou měrou prostoupeny prekambričovými granity, rulami a mladšími variskými granity (Chaloupský, 1989).

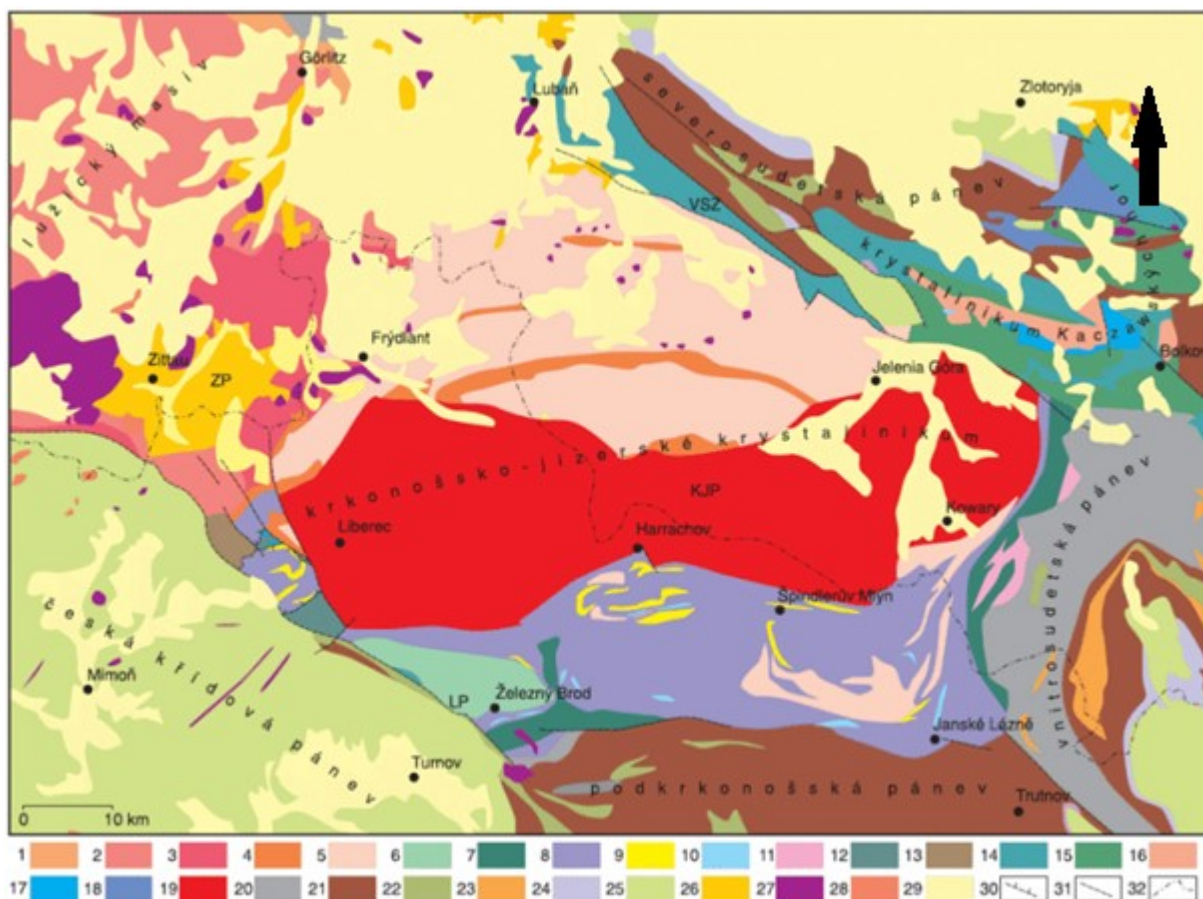
Krkonošsko-jizerské krystalinikum lze rozdělit na dílčí úseky: *jizerský rulový komplex* (prekambričovské horniny ortorulového charakteru s podřadnými svory), *krkonošsko-jizerský žulový masiv* (variská postektonická žulová intruze), *ještědské krystalinikum* (komplex svrchnoproterozoických až spodnokarbonských slabě metamorfovaných hornin), *železnobrodské krystalinikum* (fylitový komplex svrchnoproterozoického až silurského stáří, doplněný komplexem vulkanických, kambričovských hornin), *krkonošské krystalinikum* (komplex prekambričovských svorů a rul), *rýchorské krystalinikum* (zvrásněné, převážně břidličnaté kambicko-silurské horniny) (Chaloupský, 1989).

Jizerskohorský žulový masiv lze rozdělit do dvou základních typů granitoidů. Na západě Jizerských hor převládá porfyrická biotitická žula, která bývá označována jako tzv. *liberecká žula*, charakteristická svou hrubozrnnou strukturou. Ve východní části hřebene Jizerských hor se vyskytuje biotitická žula, která je rovnoměrně zrnitá a nese označení „*žula hřebenů*“ (Vrba, Geotechnika a.s.)

V období čtvrtohor byly Jizerské hory a Krkonoše konsolidovaným územím, kde docházelo k odnosu materiálu degradovaných skalních podkladů. Vlivem působení transportních činitelů – vody a gravitace, se materiál hromadil na úpatích horských svahů a v podhorských oblastech (Chaloupský, 1989).

Pleistocenní ledovcové sedimenty jsou patrné pouze na několika místech, protože ledovcové masy dosáhly pouze okrajových partií zájmového území. Například ledovec Halštrovský dosáhl na severní svahy Smědé a ledovec ze sálské doby ledové zanechal své stopy v Oldřichově v Hájích, kde představuje nejvyšší bod výskytu glaciálních sedimentů v severních Čechách. Ledovcové morény byly zaznamenány také v údolí Úpy, které byly přiřazeny risskému zalednění. Během ústupu ledovcových mas dominovaly v utváření prostředí denudační a akumulární procesy, které vedly k tvorbě říčních teras podél větších toků. Ukládané sedimenty byly písčito štěrkovité s výskytem valounků a úlomků, nebo nivní sedimenty jílovo-písčitého charakteru. V korytech řek s velkou unášecí silou byly unášeny objemné, až několika tunové, kamenné bloky. V chladném podnebí glaciálního období se v liberecké kotlině usazovaly sprašové sedimenty (Chaloupský, 1989).

Na celém území krkonošsko-jizerského krystalinika se v průběhu zalednění vytvářela suťová pole, jako jsou například lokality u vodního díla Souš, Smědavská hora, Černý vrch nebo hora Smrk (Karpaš, 2009).



Obr. Č.1.: Geologická mapa oblasti Krkonošsko-jizerského krystalinika.

(http://geologie.vsb.cz/reg_geol_cr/5_kapitola.htm)

Vysvětlivky: 1 proterozoické droby a břidlice; 2 granitoidy lužického masivu; Krkonošsko-jizerské krystalinikum: 3 kambroordovické granitoidy; 4 fylity, svory, metadroby v plášti jizerských ortorul, 5 jizerské a krkonošské ortoruly (vzniklé metamorfózou při variské orogenezi); 6 staropaleozoické sericit-chloritické fylity, 7 staropaleozoické metavulkanity železnobrodského komplexu, rýchorského krystalinika a lesczyniecké jednotky v Polsku, 8 staropaleozoické sericitické a sericit-grafitické fylity; 9 kvarcity; 10 vápence; 11 ruly lesczynieckého krystalinika, 12 svrchnodevonské fylity s vložkami vápenců v Ještědském hřbetu; 13 spodnokarbonský flyš v ještědském pohoří; Krystalinikum Kaczavských hor: 14 staropaleozoické fylitické horniny, 15 převážně bazické metavulkanity staropaleozoického stáří, 16 fylity, 17 wojciechovské vápence, 18 sedimentární a tektonické melanže (svrchní devon až spodní karbon); 19 variské plutonity: KJP - krkonošsko-jizerský pluton; Postorogenní sedimenty a vulkanity: 20 karbonské klastické sedimenty, 21 permské sedimenty, 22 bazické subaerické vulkanity permokarbonu, 23 kyselá subaerické vulkanity permokarbonu, 24 trias, 25 křída, 26 terciér - ZP - žitavská pánev, 27 bazické neovulkanity (křída - terciér), 28 trachyty, fonolity (terciér), 29 nerozlišené kvartérní sedimenty; 30 přesmyky, násuny; 31 zlomy LP - lužický přesmyk, VSZ - vnitrosudetský zlom; 32 státní hranice.

2.1.2 Hydrogeologie

Zájmové území je obecně tvořeno velmi málo propustnými horninami. Výjimkou jsou výrazněji porušené zóny a puklinové systémy. Významnější zvodnění je vázáno na kvartérní sedimenty ve dnech hlubokých údolí s řádově vyšší propustností. Propustné polohy tvoří i hojně se vyskytující svahové sutě, na něž jsou vázány četné prameny. Obecně platí, že úroveň hladiny podzemní vody v masivu poměrně rychle reaguje na míru intenzity srážek (Chaloupský, 1989).

„Propustné zóny jsou především přípovrchové, tvořené eluvii a jemnozrnnými hlínami degradovaných minerálů“ (Jetel, 1983). Kvartérní sedimenty jsou průlinově propustné, zvodnělé jsou zejména v údolních tocích. Přípovrchový pohyb podzemní vody je definován morfologií povrchu. Propustné jsou i puklinové zóny vzniklé např. tektonickými poruchami nebo blokovou odlučností (Chaloupský, 1989). Pro málo propustné metamorfované horniny krystalinika je podstatná puklinová propustnost, přičemž významnější zóny jsou vázané na tektonické poruchy. U granitických hornin je očekávána zvýšená puklinová propustnost, která je vázaná na eluviálně zvětralé partie a charakteristické systémy puklin Q, S, L.

Žulový masív krkonošsko-jizerské oblasti má mírnou propustnost v hloubkách do 25–30 m. Fylity a fylitové suti vykazují zvýšenou propustnost, jsou tedy vhodné pro lokální jímání podzemní vody. Metamorfity vykazují rapidní pokles propustnosti s hloubkou (nad 30 m), propustnost je až velmi slabá (Chaloupský, 1989).

Chemismus vod krkonošsko-jizerských žul je charakteristický zvýšeným podílem síranů a karbonátů. Reprezentují je například skupiny vod Ca-SO_4 nebo Ca-HCO_3 . Chemismus vod metamorfických hornin je s převahou zastupován skupinou Ca-HCO_3 (facií C–Ca). Významným zdrojem síranů v hřebenových vodách byly v minulosti srážkové vody (Jetel, Rybářová, 1985).

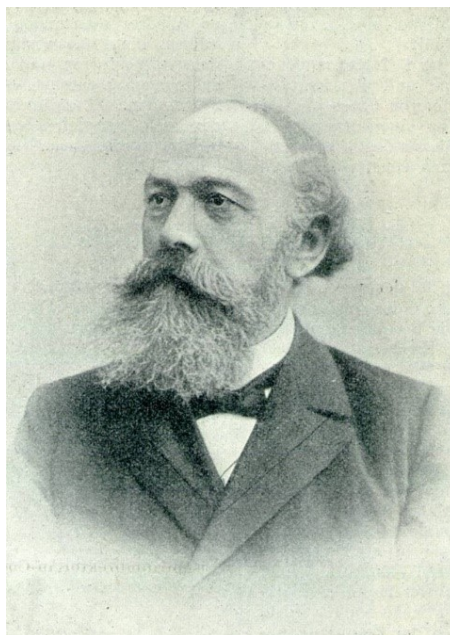
2.1.3 Geomorfologie

Jizerské hory jsou geomorfologickou jednotkou masivu Krkonošsko-jizerské subprovincie, která je rozčleněna na *Smrčskou* a *Jizerskou hornatinu*. Menší Smrčská hornatina se rozléhá v severovýchodní části pohoří. Tato jednotka je tvořena ortotulami, fylity nebo také svory a granitoidy krkonošsko-jizerského krystalinika. Typickým prvkem reliéfu jsou kerné stavby s dvěma rozsáhlými hřbety ve směru severozápad až jihovýchod, které jsou omezeny vysokými složenými zlomovými svahy. Velká část Smrčské hornatiny se nachází na území dnešního Polska. V české části je zahrnuta nejvyšší hora Jizerských hor Smrk (1124 m n. m.). Centrální a jižní část Jizerského pohoří je tvořena Jizerskou hornatinou. Plošný charakter je z geologického pohledu tvořen granitoidy a okrajově slabě metamorfovanými horninami krkonošsko-jizerského krystalinika. Nejvyšší bod v této jednotce zastupuje Jizera (1122 m n. m.), dalšími vrcholy jsou např. Holubník (1070 m n. m.), Bukovec (1005 m n. m.) nebo Černá hora (1084 m n. m.) (Demek et al., 2006).

Krkonoše jsou nejvyšší horskou oblastí České vysočiny a oblasti západních Sudet (Krkonošsko-jesenické subprovincie). Dělí se na tři základní části: *západní Krkonoše*, *východní Krkonoše* a *skupina Rýchor*. Na reliéfu se výrazně podílelo pleistocenní zalednění, které dokazují ledovcové kary (tzv. kotle) a strmé skalní stěny (tzv. jámy), ledovcové trógy a morény, či suťová pole. Reliéf je charakteru členité hornatiny s členitostí 500–600 m. V oblasti hlavních hřebenů a Černé Hory je rázu velehornatiny s výškovou členitostí 600–810 m (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem pobočka Hradec Králové, 2000).

Severní svahy uklánějící se k polské straně dosahují členitosti téměř 1000 m. Nejnižším bodem je údolí řeky Jizery, naopak nejvyšší bod je zastoupen nejvyšší horou ČR Sněžkou (1602 m n. m.). Oblast lze rozlišovat i na Pohraniční (Slezský) hřbet, vnitřní Český hřbet a na dlouhé odnože (rozsochy dílčích částí pohoří) tvořící jižní obvodovou linii (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem pobočka Hradec Králové, 2000).

3 Otto Intze



Obr. Č. 2.: Portrét Otta Intzeho (1898).

(https://cs.wikipedia.org/wiki/Otto_Intze#/media/Soubor:Otto_Intze.jpg)

Ing. Otto Adolf Ludwig Intze, dr. h. c., narozen 17.5.1843 ve městě Laage v Německu, byl stavebním inženýrem, profesorem a rektorem Univerzity v Cáchách, politikem a technickým inovátorem. Zasloužil se o výstavbu více než 40 přehrad, které se v současnosti nacházejí na území Německa, Česka, Polska a Francie. Dále je mu připisováno zdokonalení konstrukce věžových vodojemů (plynových věžových nádrží) podle tzv. *Intzeho principu*, který si nechal patentovat a bývá označen za 1. Intzeho princip (König, 2006). Intze jako mimořádná kapacita ve svém oboru stál u zrodu všech 8 přehrad vybudovaných v zájmové oblasti v 1. čtvrtině 20. století, ať už jako autor prvotní myšlenky, spoluautor projektu či technický konzultant při výstavbě.

Den po schůzi s Vodním družstvem pro regulaci toků a stavbu přehrad na Černé Desné, Bílé Desné a Kamenici v Dolním Polubném stihl profesora Intzeho záchvat mrtvice. Tři měsíce poté, dne 28.12.1904, ve svých 61 letech zemřel. Mistr se sice nedožil dokončení většiny svých přehrad projektovaných v oblasti Jizerských hor a Krkonoš, ale jeho odkaz, myšlenky a principy byly jeho nástupci dále ctěny a využívány. Proto dnes jizersko-krkonošská vodní díla jsou označována jako Intzeho přehrady.

3.1 První Intzeho princip

Jedná se o konstrukční řešení, které umožňuje založení vodojemu na prstenci o menším průměru. Nádrž byla navržena s vypouklým dnem (směrem do středu nádrže). To způsobuje, že se horizontálně působící síly vzájemně vyruší. Tento způsob umožnil stavbu věží, které byly založeny na mnohem užších prstencích z oceli a kameniva, a tím pádem došlo k úspoře materiálu. Pomocí tohoto poznatku bylo dosaženo výrazné úspory materiálu a prostorové náročnosti (Vonka, Kořínek, 2018). S využitím 1. Intzeho principu bylo jen v tehdejších Německu do roku 1900 založeno více než 500 vodojemů a věžových nádrží.

3.2 Druhý Intzeho princip

V tomto případě se konstrukční řešení týká přehradních hrází. Přehrady postavené dle 2. Intzeho principu mají následující charakteristické rysy. Je to gravitační přehrada „trojúhelníkového“ průřezu, která je postavena z lomového kamene a vysokého podílu malty. Má zakřivený půdorys obloukového tvaru, který směřuje do přehrady. Návodní plocha hrází stěny je potažena těsnicí vrstvou. Odvodnění je řešeno vertikálně, pomocí kamenné vtokové trouby v návodní patě hráze. Nákres řezu hrází dle 2. Intzeho principu na je vyzobrazen na straně 19.

Konstrukce hrází byla ve většině případů zděná, pouze v několika případech byla zvolena sypaná zemní hráz.

Na spodní části návodní strany je tzv. *Intzeho klín* (dále jen předsyp), který slouží k zvýšení těsnění v oblasti paty hráze. Předsyp je tvořený málo propustnými materiály především místního původu, jako jsou jíly nebo případně beton. Ze současného pohledu lze říci, že předsyp byl konstrukčním řešením pro využití odpadních materiálů a zeminy vytěžené při hloubení základové jámy (Wittke et al., 2002). Dle Heitefusse Kny, (2002) tento prvek požadovanou funkci neplní a jeho tlakové účinky na konstrukci hráze jsou spíše negativní.

Konstrukce hrází byla ve většině případů zděná, pouze v několika případech byla zvolena sypaná zemní hráz.

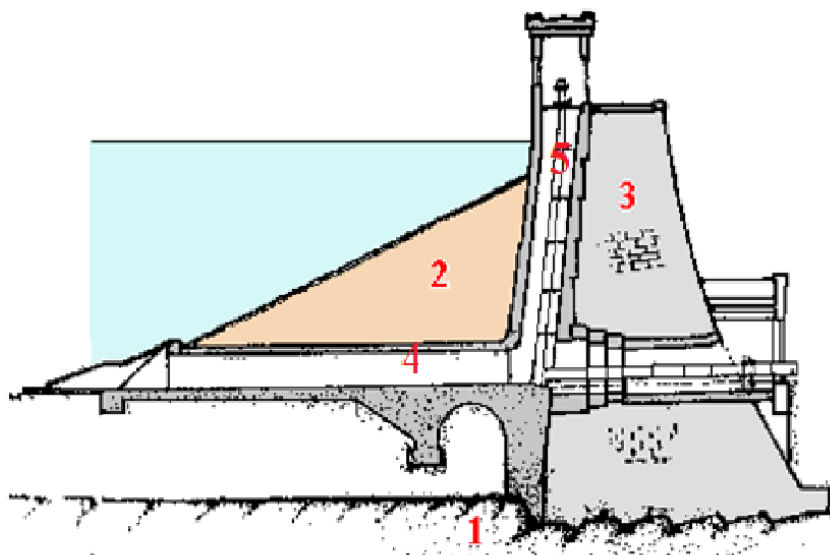
3.3 Zděné hráze

Zděné přehradní hráze postavené podle mistrových návrhů jsou postavené na základě druhého Intzeho principu (viz *Druhý Intzeho princip, Obr. Č. 4*). Podmínkou pro výstavbu těchto konstrukcí je velmi únosné a málo propustné podloží (případné nedostatky těchto aspektů je možné v jisté míře řešit). Tento typ je také podmíněn morfologií okolního terénu, vhodná jsou užší údolí a místa s poměrně velkým výškovým rozdílem, kde lze efektivně tok přehradit a využít rozpěru boků hráze jako statických bodů (Kratochvíl, Stara, 1990).

3.3.1 Popis částí

Průřez gravitačních (tízných) zdí je téměř trojúhelníkového tvaru. U návodní paty hráze se nachází *základová výpust'* (odvodňovací a regulační systém), která je propojena s *manipulační věží*. Základová výpust' podchází těleso hráze a následně ústí na *vzdušné patě* do *výpustního koryta*. Z návodní strany předchází hrázní zdi těsnící *předsyp* (Votruba et al., 1978). Mnoho přehrad je nyní vybaveno hydrodynamickými turbínami pro výrobu elektrické energie.

Pod *korunou hráze*, v úrovni kritické výšky hladiny, se nachází *nouzový přeliv*, který v případě nekontrolovatelně velkého objemu vody v nádrži umožňuje přepad vody přes hráz a samospádný odtok. Přelivy mohou být umístěny i mimo těleso hráze, v podobě, např. horizontálního odtokového systému přes šachtici. Voda pak téměř vždy odtéká přes schodovitý obtok do výpustního koryta (Votruba et al., 1978).



Obr. Č. 3.: Nákres řezu zděné přehrady dle druhého Intzeho principu.

(http://www.jizerky.eu/typ_intze.php)

Popisky: 1. skalní podklad, 2. Intzeho klín, 3. hrázní těleso, 4. odpadní štola, 5. manipulační věž

3.3.2 Postup Zakládání

Místo budoucí hráze musí být vybráno tak, aby byl vodní režim povrchové a podzemní vody udržitelný a neohrozil tak konstrukci. Podloží je ideálně skalnaté, celistvé, neporušené nebo málo porušené. Na toto kritérium byl kladen velký důraz, jelikož právě o skalní prostředí se opírá celá konstrukce přehradní hráze (Kratochvíl, Stara, 1990).

Odkrytá a očištěná základová spára, odhalená stavebním procesem, byla pak komisionálně převzata. Očištěné viditelné pukliny byly následně utěsněny cemento-trasovou maltou, která je hydrofobní. Případné průsaky vody na spáru a do stavební jámy byly odvedeny systémem drenáží, který se nachází přímo za těsnicí vrstvou na návodní straně (Tedd, 2002).

Na připravenou skalní plochu se následně nanášela speciální zdící malta, na kterou se založilo kamenné zdivo. Celá základová spára byla vždy vylepšena zazubením a ve výjimečných případech se lokálně zřizovaly i betonové stupně (především v místech, kde skála nebyla dobře opracovatelná do stupňového tvaru) (Vrba, Geotechnika a.s.).

Zdivo se skládalo z kvalitního lomového kamene, který prošel pečlivým výběrem, aby byl opracovatelný do tzv. kyklopského zdiva nebo vhodný do symetričtějšího řádkového zdiva. Většinou se jednalo o bloky z místních lomů, které se následně stávaly součástí zátopy. Jako pojivo se používala speciální Intzeho cemento-trasová malta, jejíž příprava musela splňovat přísná kritéria. Hráz pak byla opatřena těsníci prvky, jako např. cemento-trasová omítka, nebo dvojitým nátěrem siderostenu („materiál na bázi oleje, dehtu, parafinu a kaučuku“ (Pukl, 2020), překrytými kamennou přízdívkou.

Jako sypká příměs do pojivové malty se kromě písků používala i drcená žula místního původu. Ze současného pohledu se však nejedná o vhodný materiál pro maltové a betonové směsi kvůli vysokému obsahu plátek slíd v drcené sypanině (Fell et al., 2005).

V posledních fázích byl budován těsnící předsyp, z velmi málo propustných jílu, který byl pak z návodní strany opatřený kamennou rovnaninou. V horní části u dotyku hrázne zdi s předsypem byla stěna opatřena jílovou vrstvou (státní podnik, Povodí Labe, 2011).

3.4 Zemní hráze

Tato práce se zabývá pouze jedním typem zemních hrází: *sypanými hrázemi* s jílovým těsněním na návodní straně. Hráz je u ní sypána z hrubozrnného relativně propustného materiálu, který zajišťuje stabilizační funkci hráze, a těsnicí funkce je zajištěna jílovým těsněním chráněným kamenným obkladem, či záhozem. Tato konstrukce je vhodná spíše pro rozlehlejší údolí, která nemají tak výrazný výškový profil a umožňují výstavbu prostorově náročné konstrukce. V zájmové oblasti se jedná o výjimečný typ hrází z dané doby. Sypané hráze byly budovány pouze na VD Souš a na Bílé Desné, kde došlo k jejímu kolapsu.

3.4.1 Popis částí

Průřez hráze je lichoběžníkového tvaru. *Stabilizační část* má za úkol stabilizovat těleso a přenášet napětí do podloží hráze (VŠB-TUO, 2013). Je zhotovena ze zemin a sypkých materiálů, které se vyskytují poblíž místa výstavby. Všechna potencionální naleziště pak musí projít pečlivým inženýrskogeologickým posouzením.

Z moderního pohledu se požadované vlastnosti sypanin zjišťují laboratorními zkouškami. Například u *sypaných zemin* se zjišťuje křivka zrnitosti, přirozená vlhkost, měrná hmotnost, objemová hmotnost, pórovitost původního uložení, minimální a maximální ulehlost a tvar zrn. U *soudržné zeminy* se zjišťuje konzistenční mez, zrnitost, přirozená vlhkost, měrná hmotnost, obsah organických látek a solí, objemová hmotnost, pórovitost a závislost mezi vlhkostí a objemovou hmotností. Zjišťují se také stlačitelnost a součinitel časového průběhu konsolidace, prosedání nebo bobtnání v závislosti na nasycení vodou. Dále jsou materiály vystaveny smykovým zkouškám (v optimálním stavu i v plném prosycení vodou), nebo za působení abnormálních vlivů, jako jsou např. vibrace, seismická aktivita (Votruba et al., 1978).

Je nutné dodat že v době výstavby Intzeho přehrad nebyl inženýrskogeologický průzkum na takové úrovni jako dnes a stavitelé si museli poradit se všemi dostupnými materiály bez většího ohledu na jejich fyzikální vlastnosti a parametry. Jako zkoušky mohly být použity např. poloprovozní těžba, sypání a zhutnění. Zhutňovacím pokusem lze ověřit, jakým způsobem lze nejvýhodněji dosáhnout požadovaného stavu hutněné vrstvy. Zároveň se tím zjistí i požadovaná tloušťka optimálně hutněné vrstvy (Votruba et al., 1978).

Těsnicí část hráze je zhotovena ze zeminy, která musí mít malý koeficient propustnosti. Těsnění je dvojího druhu – návodní, a středové, které je lépe chráněné před poškozením (Votruba et al., 1978). Je možné jej zhotovit např. z jílu, zdiva a cemento-trasové malty, asfaltu nebo také dřeva. *Ochranná část* chrání těleso před účinkem vlnobití, vymílání dešťovou vodou, proti větrné erozi (Kratochvíl, Stara, 1990).

Na návodním líci se jako materiál používá kamenná rovnanina (na sucho nebo pojena betonem). Vzdušní líc je buď oset travinami, osázen křovinami nebo drénován. Manipulační zařízení bývá umístěno v prostředku tělesa hráze a je propojeno vertikální šachtou s odtokovou štolou (Votruba et al., 1978). Nouzový přeliv bývá umístěn vedle tělesa hráze a je nižší než koruna. Následně „obchází“ celé těleso, až nakonec ústí do výpustného koryta (VŠB-TUO, 2013).

Rozměry průřezu musí odpovídat následujícím kritériím: výpočty stability, průsaky vody pod hrázi a akumulacním požadavkům. Podle maximální možné hladiny se určuje výška tělesa, převýšení hráze však nemá být menší než 2 m. Šířka koruny má mít nejméně 3 m, ale většinou se navrhuje rozměry 5 až 6 m. Sklon koruny může být jednostranný (ukloněn směrem k vzdušnému líci). Sklony svahů jsou obvykle v rozmezí 1:2,5–1:3 na návodní straně a 1:2–1:2,5 na vzdušní straně (Votruba et al., 1978).

3.4.2 Postup zakládání

Místo pro výstavbu sypané hráze není tolik omezováno kvalitou skalního podloží, jako tomu bylo u zděných hrází, jelikož konstrukce zemního tělesa umožňuje jistou míru propustnosti vody. Tento typ lze zakládat i na neskálním podloží, např. na údolních sedimentech, únosných nebo dokonce na kyprých zeminách. Pro zakládání vzdouvací stavby platí, že zatížení, které těleso vyvolává, je přes základovou spáru přenášeno do podloží (Votruba et al., 1978). Dále zde hraje značnou roli účinek průsakové vody, jejíž současný pohyb podložím je nutné znát. Do budoucnosti je bezpodmínečný i předpoklad reakce prostředí na stavbu.

Pomocí výkopových prací se připraví základová spára. Tlakovou vodou nebo vzduchem je skála očištěna. Případné prameny a výrony vody jsou pomocí drénů odvedeny ze stavební jámy pryč nebo utěsněny, např. zhutněnou zeminou, bentonitem, afaltem nebo cemento-trasovou maltou (Votruba et al., 1978).

Na vytvořené ploše je vystavěna odpadní štola a prostor pro instalaci výpustních zařízení. Dalším krokem je budování často zděného manipulačního zařízení, které je následně zabudováno do sypaného tělesa hráze. V případě Intzem navržených sypaných hrází se využívaly hlinité písky s drobným štěrkem, které tvořily stabilizační část, a jílové materiály na navodí sloužily jako těsnění. Těsnění návodní strany je dle potřeby protaženo směrem do zátopy a mírně zahlobeno „na základovou spáru“. Tento *těsnící koberec* zasahuje až pod základovou spáru a překryt vrstvou betonu nebo cemento-trasu s kamennou rovnatinou. Těsnící vrstvy mohou tvořit částečnou těsnící stěnu (státní podnik, Povodí Labe, 2018). Příklad příčného řezu sypanou zemní hrází je k nahlédnutí pod obrázkem č. 10. na straně 36 (profil vodního díla Souš).

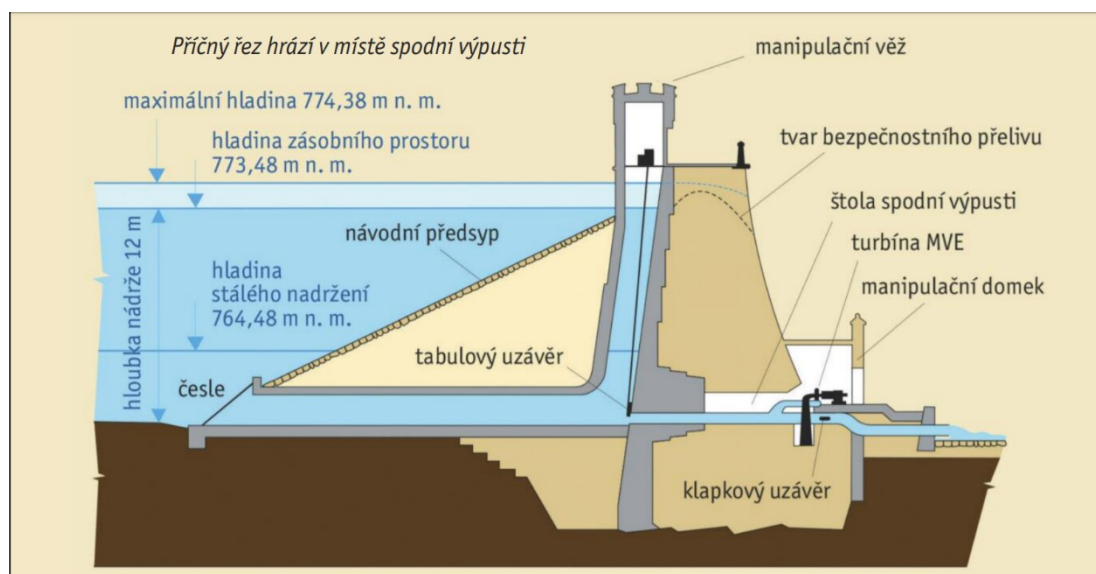
4 Příklady Intzeho přehrad v oblasti Krkonoš a Jizerských hor

V této práci jsou blíže popsána vybraná významná přehradní díla krkonošsko-jizerského krystalinika. Všechny tyto přehrady byly vybudovány v rozmezí let 1901–1916 podle návrhu nebo přímo pod vedením Ing. Otta Intzeho, dr. h. c., který se však dokončení mnoha z nich nedožil. Výstavba přehrad byla iniciována častými a ničivými záplavami na horských tocích na konci 19. stol. Z tohoto popudu České království (tehdy pod nadvládou Rakousko – uherské monarchie) vyzvalo pruskou vládu k spoluúčasti při ochraně společného pohraničí před katastrofickými povodněmi. Pruská vláda odpověděla pověřením svého předního stavitele tímto významným úkolem.

4.1 Přehrady Jizerských hor

V oblasti Jizerských hor bylo v období 1901-1915 vybudováno celkem 7 přehradních děl. Vodní díla Bedřichov, Harcov, Mšeno, Souš a Bílá Desná jsou popsány níže. Přehrady Mlýnice a Fojtka nejsou kvůli své konstrukční a podmínkové podobnosti s vodním dílem Bedřichov blíže popsány.

4.1.1 Přehrada Bedřichov



Obr. Č. 4.: Řez hrází bedřichovské přehrad.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_bedrichov.pdf)

Dílo leží na toku Černé Nisy (na říčním kilometru 11,045) v Bedřichově v Jizerských horách. Jedná se o druhou nejvýše položenou přehradu v Čechách, která byla vybudována v letech 1902-1905 jako protipovodňová ochrana. Stavební práce prováděly firmy Ackermann (Klagenfurt), W. Relle und Neffe, W. Streizig und CO. Kámen (žula) pro stavbu byl získáván v lomu na bedřichovském sedle a byl dopravován pomocí speciálně vybudované úzkokolejky. V letech 1924-1927 byla dodatečně instalována hydroelektrická část soustavy. V současné době přehrada stále slouží jako ochranný prvek před velkými vodami, akumulární zařízení pro energetické a vodohospodářské účely nebo pro rekreační činnosti. Přehrada je ve správě Povodí Labe (státní podnik, Povodí Labe, 2018).

Jedná se o zděnou hráz postavenou dle 2. Intzeho principu. Pro vypouštění vody z nádrže slouží dvě výpusti uložené v příčných štolách. Na levé straně zavázání hráze se nachází bezpečnostní přeliv o dvou polích, který ústí do kaskádového odpadu. Pod soutokem odpadu z výpustí a z přelivu je umístěn vtokový objekt přivaděče vodní elektrárny Rudolfov I, která je vzdálená 3,5 km. Přivaděč je krytý betonovými deskami a zahrnutý zeminou (státní podnik, Povodí Labe, 2018).

Technické parametry

Plocha povodí	4,31 km ²	Zatopená plocha	37,4 ha
Průměrný průtok	0,126 m ³ .s ⁻¹	Zásobní objem nádrže	1,709 mil. m ³
Výška hráze (nad základovou spárou)	23,5 m	Ochranný objem nádrže	0,355 mil. m ³
Výška hráze (nad terénem)	15,1 m	Celkový objem nádrže	2,103 mil. m ³
Délka v koruně	340,0 m	Maximální kapacita spodní výpusti	5,73 m ³ .s ⁻¹
Nadmořská výška koruny	775,26 m n. m.	Typ bezpečnostního přelivu	nehrazený korunový přeliv
Objem tělesa hráze	42 000 m ³	Maximální kapacita bezpečnostního přelivu	4,2 m ³ .s ⁻¹
Hydroenergetické zařízení	Ano	Instalovaný výkon vodní elektrárny	60 kw

Tabulka Č.1.: Technické parametry přehrady Bedřichov.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_bedrichov.pdf)

Inženýrskogeologické poměry

Dominantní horninou je zde výrazně porfyrický granit, tzv. *monzogranit*, jizerského typu. Jde o výrazně porfyrický a biotitický granit s místy planárním nebo lineárním uspořádáním vyrostlic K-živce. Ty dosahují délky 3–7 cm (Česká geologická služba, 1998). V čerstvém stavu má hornina světle šedou barvu v různých odstínech, často mírně do růžova.

V základní hmotě je zastoupen především plagioklas, K-živce, biotit, chlorit, ojediněle také amfibol nebo akcesorie (Kolmínský, J & kol., 2003). Kvartérní pokryv v okolí vodního díla tvoří především nivní sedimenty, které byly zastiženy vrty. Místy se objevují slatiny a rašeliniště.

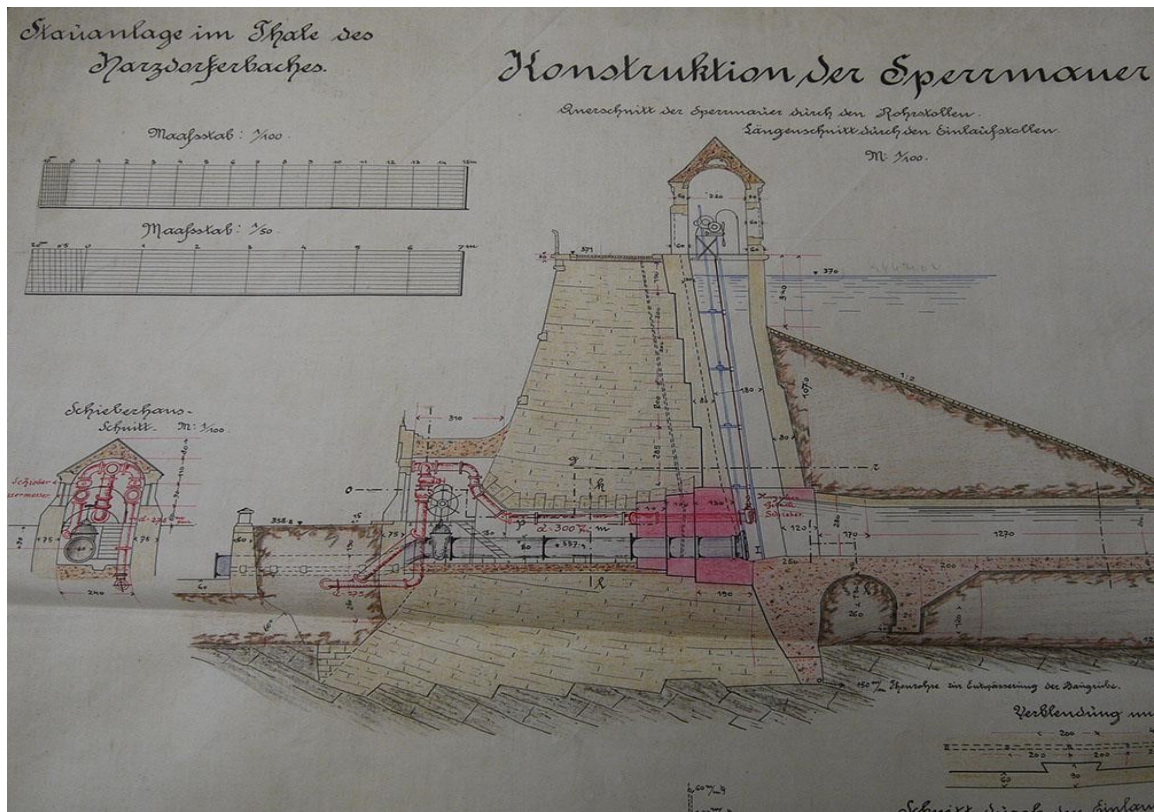
Podloží nevykazuje žádné výrazné porušení, rozpukání je zastiženo pouze v prvních metrech (Česká geologická služba, 1998). Kvalita skalního masivu v základové spáře a bezprostřední hloubce podzákladí byla stanovena jako navětralá žula s polohami zdravé žuly s pevností 25–50 MPa (Vrba, Geotechnika a.s.).



Obr. Č. 5.: Geologická mapa lokality vodního díla Bedřichov.

(<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

4.1.2 Přeprada Harcov



Obr. Č. 6.: Dobový řez hrází Harcov.

(<http://www.atrkcjeteknicki.karr.pl/pl/strony/1119.html>)

Tato vodní nádrž je situována na Harcovském potoce (říční kilometr 1,680) v Liberci. Dílo vzniklo za účelem ochrany před povodňovými vodami a akumulace pro odběr vody pro průmyslové a občanské využití (za předpokládaného odběru 150 l/s), ale také k zajištění minimálního průtoku Harcovského potoka pod hrází (státní podnik, Povodí Labe, 2011).

Výstavba celého díla proběhla v rozmezí let 1902–1904, kterou realizovala německá firma W. Streizig und CO a vídeňský podnik H. Rell a synovec. Jedná se o typický příklad tížné hráže vybudované podle 2. Intzeho principu.

Výstavba započala zemními pracemi a následnou úpravou skalního podkladu do schodovitého tvaru. Při přípravě základové spáry docházelo často k problematickým výronům pramenů a zatápění stavebního prostoru. Tento problém byl řešen jímáním pramenů a instalací drenážních systémů, které vody odváděly pryč. Kameny použité při výstavbě byly získány z malých lomů, které jsou součástí zátopy. Jejich stěny jsou dodnes patrné i při plném napuštění.

Pro vypuštění vody z nádrže slouží dvě spodní výpusti, které jsou uloženy v příčných štolách na spodku konstrukce. Vtoky do výpustí je možno regulovat pomocí stavidel ovládaných strojnami v koruně hráze. Vtok vody do výpustí je možno regulovat šoupátkovými uzávěry uloženými v domcích u paty hráze. Dodatečně bylo do levé základové výpusti instalováno i hydroenergetické zařízení. Pro převedení velkých vod zde byl vybudován nehrazený přeliv o pěti polích situovaný v levé straně hráze. Přeliv je sveden osmi kaskádovými stupni do údolí.

V současné době stále přehrada slouží jako prvek protipovodňové ochrany a energetický zdroj. Dílo se stalo symbolem rekreačních aktivit, rybářského hospodářství a hlavně „přírodním“ estetickým prvkem, který je obklopen městskou aglomerací. Přehrada je ve správě Povodí Labe (státní podnik, Povodí Labe, 2011).

Technické parametry

Plocha povodí	15,7 km ²	Zatopená plocha	14,07 ha
Průměrný průtok	0,283 m ³ .s ⁻¹	Zásobní objem nádrže	0,350 mil. m ³
Výška hráze (nad základovou spárkou)	19,00 m	Ochranný objem nádrže	0,057 mil. m ³
Výška hráze (nad terénem)	13,00 m	Celkový objem nádrže	0,687 mil. m ³
Délka v koruně	157,00 m	Maximální kapacita spodní výpusti	12,36 m ³ .s ⁻¹
Nadmořská výška (kóta) koruny	373,90 m n. m	Typ bezpečnostního přelivu	nehrazený korunový přeliv
Objem tělesa hráze	16 000 m ³	Maximální kapacita bezpečnostního přelivu	11,6 m ³ .s ⁻¹
Hydroenergetické zařízení	Ano	Instalovaný výkon vodní elektrárny	neznámý

Tabulka Č.2.: Technické parametry přehrady Harcov.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_harcov.pdf)

Inženýrskogeologické poměry

Z geologického hlediska se těleso nachází v magmatických horninách variského stáří lužické (západosudetské) oblasti, krkonoško-jizerského masivu (Česká geologická služba, 1998). Hlavní podložní horninou je charakteristická hrubozrnná liberecká žula. Kvartérní pokryv v oblasti nádrže Harcov je tvořen nivními fluviálními sedimenty (Česká geologická služba, 2020).

Zvláštností granitů pod tělesem hráze je, že zde nebyl zastižen žádný žilný doprovod, který je pro zdejší oblast typický. Horninou zde prostupuje rozsáhlý systém puklin tvořený 3 charakteristickými vzájemně kolmými systémy Q, S a L.

V posledních letech jsou sledovány průsaky hrází i v podzákladí. Na hrázi tak byly prováděny průzkumné práce za účelem jejich ověření. Realizovány byly jádrové vrty, v nichž bylo prováděno karotážní měření (Aquatest, a.s., 2012).



Obr. Č. 7.: Geologická mapa okolí přehrady Harcov.

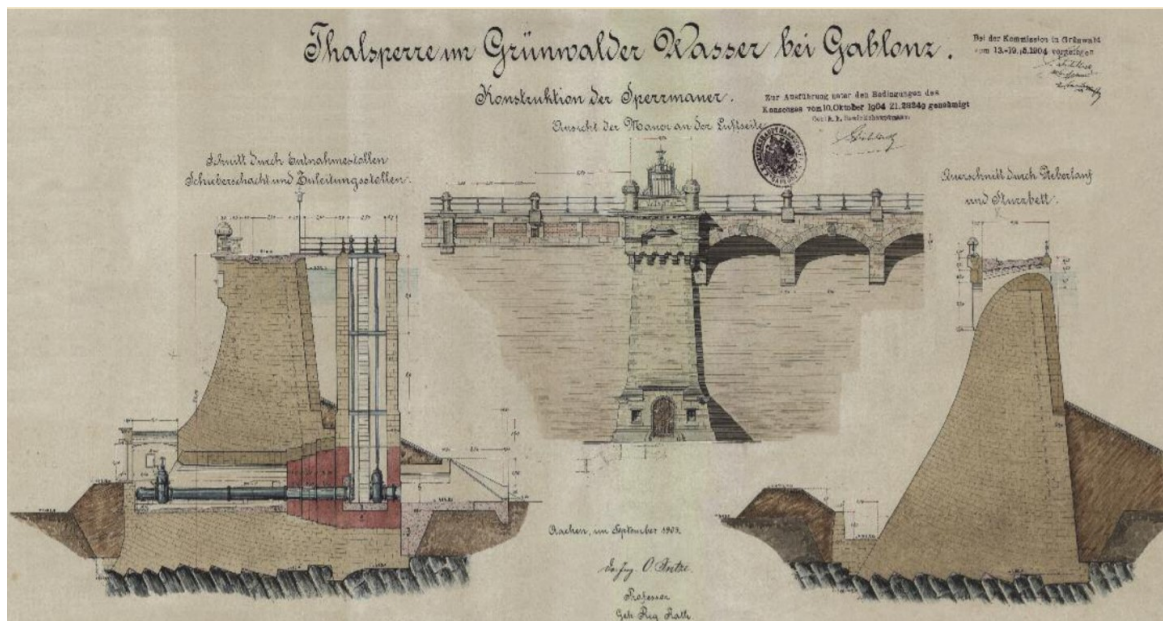
(<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

Z karotážních měření tělesa hráze a jeho podloží bylo zjištěno, že je většina puklin v podloží subhorizontálních a uklání se různými směry. Na některých úsecích vrtů byly zaznamenány významné pukliny tektonického původu (bývá pravidlem, že tyto pukliny jsou téměř nepropustné). Dále bylo zjištěno, že nejvíce propustné polohy jsou vázány spíše na individuální pukliny, které způsobují značné proudění spodní vody v podzákladí tělesa.

Z hydrokarotážních měření bylo zjištěno, že jednotlivými vrty výrazně proudí voda jak vlastním tělesem hráze, tak i jeho podložím, a to s vydatností až 700 l/den. Důvodem tohoto jevu jsou četné malé pukliny ve spárách tělesa hráze, které vedou až 65 % vody. Zbýlých 35 % vody putuje podzákladovými puklinami v podloží. Byly zaznamenány i výrazné přítoky spodní vody v blízkém okolí hrázní báze. Pravděpodobně jde původně o vodu povrchovou, která se dostala do puklinového systému skrze dno zátopy (Aquatest, a.s., 2012).

V současné době probíhá příprava projektu pro rekonstrukci přehradní hráze. Týká se především podzákladí, jehož nadměrná propustnost musí být zmírněna novým konstrukčním řešením (v jednání je výstavba injekční štoly). Plánuje se přestavba části hrázního tělesa včetně korunního přelivu a jeho kaskády, a uvažuje se také o těsnící injektáži přímo do zděné části konstrukce.

4.1.3 Přehrada Mšeno



Obr. Č. 8.: Ukázka historické dokumentace přehrady Mšeno.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_mseno.pdf)

Nádrž se nachází v jabloneckém intravilánu, v městské části Mšeno, na Mšenském potoce (říční kilometr 1,5). Původně měla hráz stát v Pekle v Rýnovicích, ale tehdy se v místě budoucí zátopy nacházelo okolo sta domů, proto bylo zvoleno současné umístění. Do nádrže jsou přiváděny části průtoků z dalších toků Lužické a Bílé Nisy. Jedná se o součást protipovodňové ochrany. Výstavbu iniciovala katastrofická povodeň, která zasáhla povodí Lužické Nisy v roce 1897. V současné době je dílo pod správou Povodí Labe a stále chrání oblast před povodněmi. Hlavně se však stala symbolem jablonecké rekreace (státní podnik, Povodí Labe, 2017).

Vodní dílo se skládá ze tří částí, 1 (jižní), 2 (střední), 3 (severní), řazeno směrem od hráze na sever. Jednotlivé části jsou odděleny sypanými zemními tělesy. Toto řešení bylo realizováno kvůli převedení dvou komunikací, které se následně staly součástí zátopy. Bylo tedy nutné připravit nové trasy komunikací, nyní vedoucí přes sypané hrázní propustky, které na severu oddělují jednotlivé části vodní nádrže (státní podnik, Povodí Labe, 2017).

Přehradní hráz je zděná tížného typu a byla vystavěna na základě 2. Intzeho principu. Zhotovení projektu bylo zadáno pražské firmě *Franz Schön a synové*, dodávky a montáže ocelových konstrukcí zajišťovala liberecká firma *Christian Linser*. Výstavba tělesa probíhala v letech 1906–1909. Výkopové práce odkryly skálu, která byla upravena do schodovitého tvaru a zbavena potencionálně deformačních zón. Jako základová hmota zde byl použit výjimečně beton o mocnostech 0,5–1,5 m. Do betonové směsi byl přidáván „perk“ (eluviální žulová drť), který je velmi hrubozrnný. Těleso samotné bylo zděno do kyklopského zdiva a esteticky obloženo kamenem. Kámen byl dovážen pomocí vybudované trati úzkokolejky. Následovalo budování dvou výpustních zařízení, která byla následně propojena s manipulačními věžemi. V tomto případě jsou věže předsazeny hrázní zdi, do budoucího těsnícího předsypu. Bezpečnostní přeliv o čtyřech polích je umístěn na středu hráze nad výpustnými zařízeními, dále pokračuje přes skluz do výpustního vývaru (státní podnik, Povodí Labe, 2017).

Druhý bezpečnostní přeliv je hrazený, o dvou segmentech, a je situován ve vtokovém objektu. Dodatečně, roku 1996, bylo do levé výpustní části instalováno hydroenergetické zařízení (státní podnik, Povodí Labe, 2017).

Při pravém břehu vodního díla byla vybudována sypaná obvodová hráz, která chrání břeh před erozí spojenou s vlnobitím. Do nádrže jsou přiváděny přítoky za pomoci vybudovaných štol. Na severu ústí štola z Loučné nad Nisou, která přivádí část vody z Bílé Nisy a ústí do 3. (severní) části společně s Mšenským potokem. Z východu je štolou z Pasek nad Nisou přivedena část průtoku Lužické Nisy. Tato opatření na horních tocích pomáhají snížit míru povodňových vod převedením do retenčního prostoru Mšenské nádrže (státní podnik, Povodí Labe, 2017).

Technické parametry

Plocha povodí	25 km ²	Zatopená plocha	34,77 ha
Průměrný průtok (všech přítoků)	0,616 m ³ .s ⁻¹	Zásobní objem nádrže	1,897 mil. m ³
Výška hráze (nad základovou spárrou)	20,00 m	Ochranný objem nádrže	0,836 mil. m ³
Výška hráze (nad terénem)	15,80 m	Celkový objem nádrže	2,785 mil. m ³
Délka v koruně	425,50 m	Maximální kapacita spodní výpusti	7,84 m ³ .s ⁻¹
Nadmořská výška (kóta) koruny	513,00 m n. m	Typ bezpečnostního přelivu	A) nehrazený korunový přeliv, B) hrazený ve vtokovém objektu
Objem tělesa hráze	43 000 m ³	Maximální kapacita bezpečnostního přelivu	A) 4,12 m ³ .s ⁻¹ B) 2 × 37,5 m ³ .s ⁻¹
Hydroenergetické zařízení	Ano	Instalovaný výkon vodní elektrárny	11 kW

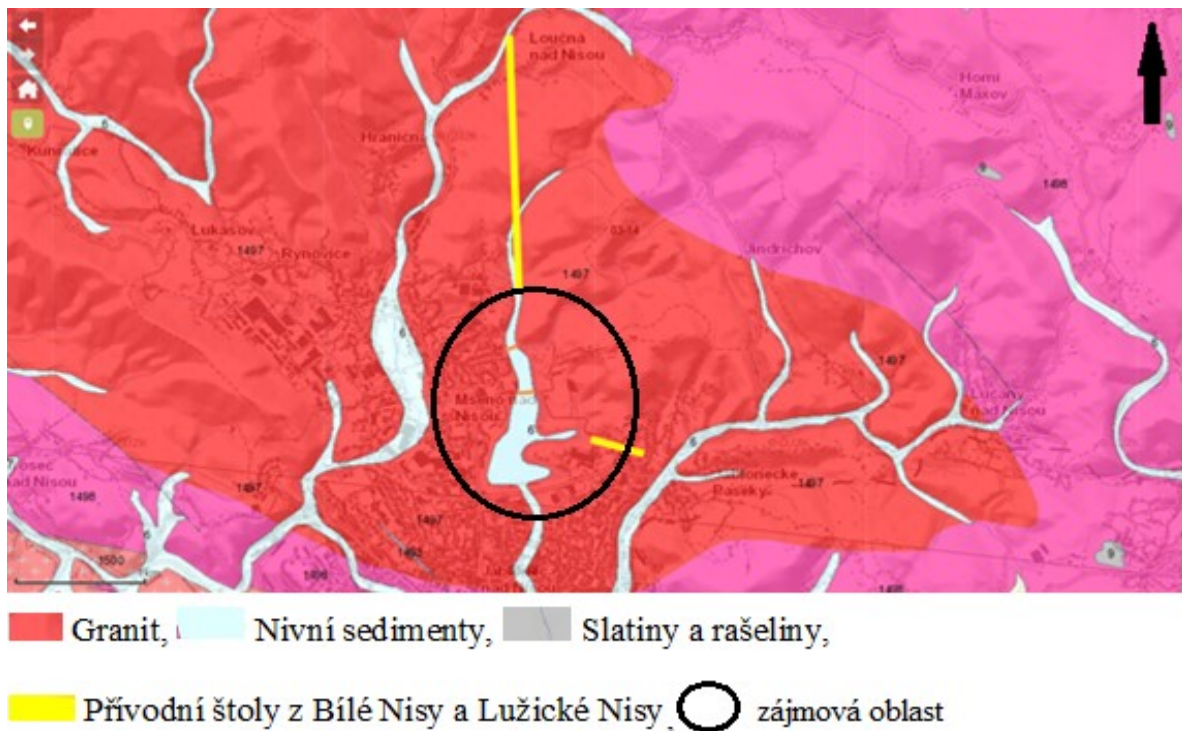
Tabulka Č.3.: Technické parametry přehrady Mšeno.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_mseno.pdf#page=1&zoom=auto,-206,3461)

Inženýrskogeologické poměry

Hlavní podložní horninou je liberecká žula. V tomto případě se jedná o variantu drobnozrnného biotitického granitu, převážně šedé až pleťové barvy. Je zde zastížena výrazně porfyrická struktura s až 1 cm velkými kapkovitými agregáty hnědého, kouřového křemene (Kolmínský, J & kol., 2003). Geologická situace okolí vodního díla Mšeno je k nahlédnutí pod obrázkem č. 9. na straně 34.

Kvartérní pokryv v oblasti nádrže je tvořen nivními fluviálními sedimenty. Zakládáno mělo být na zdravý žulový masiv, bez závažnějších poruch (Satrapa, Valenta, 1997). Během výkopových prací byla zastížena poloha zcela rozrušené a zvětralé žuly (tzv. Granitgruss), s minimální pevností (<1 MPa), která zřejmě nebyla řádně stanovována (Vrba, Geotechnika a.s.).



Obr. Č. 9.: geologická mapa okolí přehrady Mšeno.

(<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

V 80. letech 20. století byly v souvislosti s objevujícími se průsaky realizovány nové průzkumné práce. Z dodatečného geologického průzkumu, provedeného v letech 1987 a 1988, bylo zjištěno, že archivní podklady patrně nekorrespondují s reálnou situací podzákladí, a průzkumem byly zjištěny mocnosti zcela zvětralé žuly v podzákladí v rozmezí 7–11 m. Hlavním materiálem tvořící podzákladí nebyl pevný žulový masív, ale žulové eluvium (perk). Proto bylo následně přistoupeno k rozsáhlé sanaci podzákladí, jak je uvedeno níže (Satrapa, Valenta, 1997).

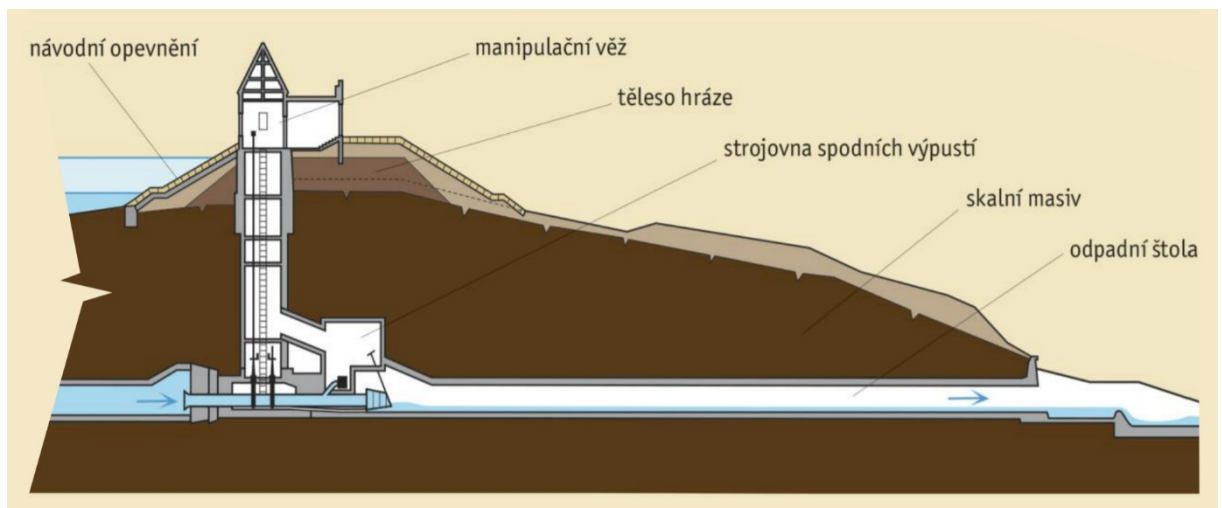
Rekonstrukce a modernizace

Mšenská přehrada prošla v průběhu 111 let od svého dokončení celkem jedenácti zásahy do svých částí. Roku 1963 byl opraven odvodňovací systém pravého břehu a pod přehradou bylo vybudováno osm pozorovacích šachet na svodných drénech. V letech 1978–1982 proběhlo zrušení pravobřežní obvodové hráze kvůli výstavbě sídliště Mšeno. Terén za hrází byl dorovnan na úroveň koruny a bylo vyřešeno jeho náhradní odvodnění. Roku 1996 byla na levé straně vypustního zařízení instalována malá vodní elektrárna (státní podnik, Povodí Labe, Závod Jablonec nad Nisou, 2020).

Průsaky vody podzákladím hráze vedly k velké rekonstrukční akci, která proběhla v rozmezí dvou let 1999–2000. Zhotovitelem byla firma EREBOS s.r.o. a generálním projektantem firma Tubes spol. s.r.o. Řešením bylo vybudování injekční štoly, která byla vyražena do dvou třetin hráze. Svým dnem byla zahloubena až do podzákladí a kalotou zasahovala až do zděného tělesa. Injektaž pak proběhla ve třech řadách do dna štoly a v jedné řadě skrz klenbu do zdiva. Injekčním prvkem byla zvolena syntetická polyuretanová směs. Štola pak společně s injektážními vrty tvořila těsnící clonu. Jednalo se o unikátní způsob sanace podzákladí hráze nejenom v našich podmínkách, ale i v zahraničí. V současné době byl vystavěn i nový odvodňovací systém pod hrází. Při sníženém stavu vodní hladiny v nádrži se provedla výměna česlí a oprava návodních stavidlových uzávěrů spodních vypustí. Dalším bodem byla oprava břehové dlažby a částečné odstranění nánosů v celém prostoru nádrže (státní podnik, Povodí Labe, Závod Jablonec nad Nisou, 2020).

Oprava přemostění korunového přelivu proběhla v roce 2004, stará konstrukce byla vyměněna za novou pohledově podobnou železobetonovou variantu. V současnosti probíhá generální oprava hydroizolace na koruně, kterou provádí firma EUROVIA CS. a.s. Nová konstrukce je složená ze tří vrstev. Na obnaženém kyklopském zdivu je 10 cm mocná betonová vrstva, která je potažena asfaltovými pásy. Na vrch je vyskládána původní žulová dlažba v loži ze štěrkodrti. Srážková voda bude odváděna 28 odtoky skrze zdivo návodního líce.

4.1.4 Přehrada Souš



Obr. Č. 10.: Příklad sypané hráze, řez konstrukcí hrází přehrady Souš.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf)

Vodní dílo Souš se nachází v povodí Kamenice a přehrazuje tok Černé Desné (říční kilometr 7,250). Jedná se o druhou nejvýše položenou vodní nádrž v Čechách. Důvodem výstavby byly ničivé povodně, které kamenické povodí opakovaně zasahovaly (výrazně pak v letech 1888, 1897, 1907). Projektování soustavy dvou přehrad (Souš a Dílo na Bílé Desné) si vyžádalo Vodní družstvo v Dolním Polubném. Hlavním projektantem se stal Ing. Wilhelm Plenkner z Prahy. Ing. Otto Intze se tohoto projektu sice zúčastnil, ale před zahájením projektování těžce onemocněl a dne 28.12.1904 zemřel. V současné době je přehrada stále ochranným prvkem před povodňovými stavy a slouží i k vodárenským účelům s využitím pro oblasti Jablonec, Tanvald a Železný Brod. Provoz zajišťuje Povodí Labe, resp. Závod Jablonec nad Nisou (Žák, 2006).

Výstavba konstrukce probíhala v letech 1911–1915. Byla vybudována přímá zemní sypaná hráz, jako stabilizační materiál byly použity hlinité písky a drobné šterky. Sypké materiály byly získávány v blízkém okolí stavby. Těsnícím prvkem návodní strany byly jílové vrstvy překryté kamennou rovnáninou. Osa bývalého řečiště pod hrázní konstrukcí byla v patě přehrazena jílovou patkou. Vzdušná strana byla také obložena kamennou rovnáninou (Žák, 2006).

Odvodňovací systém je situován ve štole ražené skalním masivem, několik metrů pod patou sypané hráze. Štola je 87 m dlouhá a je rozdělena na dvě části (odpadní beztlakovou část a přívodní tlakovou část). Šachta je spojena s šachticí, která prochází skálou, a konstrukcí, až do manipulační věže na koruně. K převádění povodňových průtoků byl zřízen levostranný boční nehrazený přeliv. Přeliv pokračuje do kaskádového odpadu o osmi schodech, jejichž výška je 2–2,5 m (Žák, 2006).

V roce 1915 byla dokončena i propojovací štola s dílem na Bílé Desné pro převádění nadměrných průtoků do objemnějšího tělesa Souš. O rok později došlo ke katastrofickému kolapsu hráze na Bílé Desné, jejíž konstrukce byla též sypaná zemní. Kvůli tomu byla po odstranění škod nařízena preventivní opatření i na díle Souš.

Zhotovení rekonstrukce proběhlo v letech 1924–1927, jednalo se především o zesílení a navýšení sypaného tělesa, zřízení drenážního systému a zvýšení těsnících vlastností návodní strany. Na jílovou těsnící vrstvu byla přidána betonová vrstva, která byla znovu osazena kamennou rovinaninou. Jílová patka těsnící bývalé říční koryto byla nahrazena betonovou zdí, zasahující do hloubky 8 m (Žák, 2006).

Technické parametry

Plocha povodí	13,77 km ²	Zatopená plocha	68,7 ha
Průměrný průtok (všech přítoků)	0,505 m ³ .s ⁻¹	Zásobní objem nádrže	4,585 mil. m ³
Výška hráze (nad základovou spárou)	25,00 m	Ochranný objem nádrže	2,476 mil. m ³
Výška hráze (nad terénem)	21,00m	Celkový objem nádrže	7,480 mil. m ³
Délka v koruně	364,00 m	Maximální kapacita spodní výpusti	21,20 m ³ .s ⁻¹
Nadmořská výška (kóta) koruny	771,29 m n. m	Typ bezpečnostního přelivu	nehrazený korunový přeliv
Objem tělesa hráze	211 000 m ³	Maximální kapacita bezpečnostního přelivu	126,9 m ³ .s ⁻¹
Hydroenergetické zařízení	Ano	Instalovaný výkon vodní elektrárny	20 kW

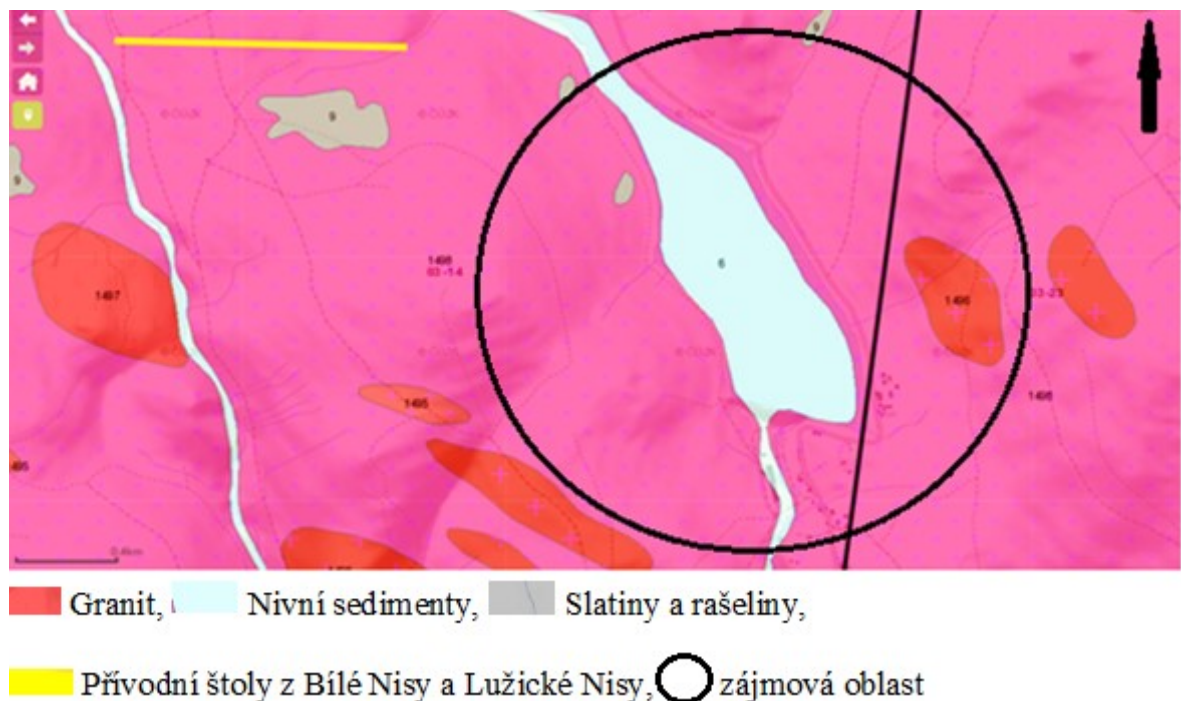
Tabulka Č.4.: Technické parametry přehrady Souš.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf)

Inženýrskogeologické poměry

Hlavní horninou je výrazně porfyrický granit, tzv. *monzogranit*, jizerského typu, výrazným rysem této horniny jsou vyrostlice K-živce dosahující délky 3–7 cm (Česká geologická služba, 1998). Jde o výrazně porfyrický a biotitický granit s místy planárním nebo lineárním uspořádáním vyrostlic K-živce. V čerstvém stavu má hornina světle šedou barvu v různých odstínech, často mírně do růžova (Kolmínský, J & kol., 2003).

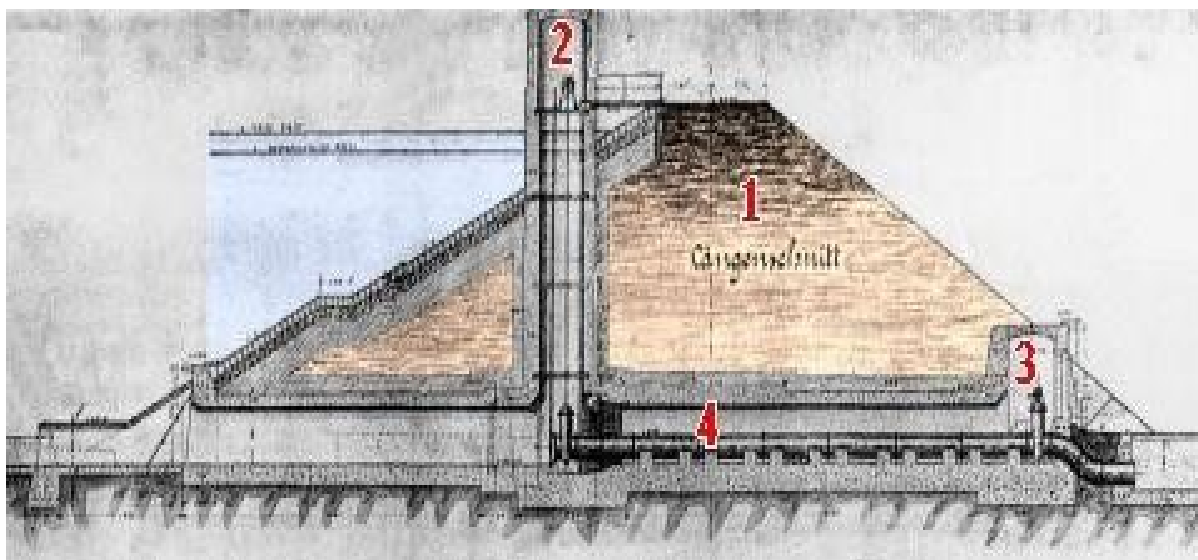
V základní hmotě je zastoupen především plagioklas, K-živce, biotit, chlorit, ojediněle také amfibol nebo akcesorie (Kolmínský, J & kol., 2003). Kvartérní pokryv okolí vodního díla tvoří nivní sediment. Místy se objevují slatiny a rašeliniště (Česká geologická služba, 2020). Kvalita skalního masivu v úrovni základové spáry a bezprostřední hloubce pod ní byla stanovena jako zdravá žula s polohami navětralé žuly o pevnosti 10–50 MPa (Vrba, Geotechnika a.s.).



Obr. Č. 11.: Geologická mapa okolí vodního díla Souš a Bílé Desné.

(<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

4.1.5 Přehradní dílo na Bílé Desné



Obr. Č. 12.: Schéma průřezu hrází na Bílé Desné.

(http://www.jizerky.eu/bila_tech.php)

1: Těleso hráže, 2: Manipulační věž, 3: Výpustní komora, 4: Výpustní štola s odvodňovacím potrubím

Podnětem výstavby byly ničivé povodně, které kamenické povodí opakovaně zasahovaly (výrazně v letech 1888, 1897, 1907). Projektování soustavy dvou přehrad (Souš a dílo na Bílé Desné) si vyžádalo Vodní družstvo v Dolním Polubném a u jeho zrodu stál Ing. Otto Intze. Ten však před zahájením projektování těžce onemocněl a téměř o tři měsíce později zemřel. Hlavním projektantem se stal Ing. Wilhelm Plenkner z Prahy (Žák, 2006). Stavba byla zahájena dne 17.10.1912. Její realizací byla pověřena pražská firma *Schön a synové*.

Kvůli hlubokému uložení skalního podkladu bylo rozhodnuto o výstavbě sypané hráže na vrstvách ztuhnutých kvartérních zemín ve dně údolí. Materiály použité k výstavbě byly místního původu. Na základovou plochu byl v místě budoucí výpustní štoly a manipulační věže položen pilotami ukotvený betonový rošt. Poté byly nanášeny 40 cm mocné vrstvy hlinitých písků a drobných štěrků, které byly válcovány. Návodní strana byla opatřena izolační jílovou vrstvou obloženou kamennou rovnáninou. Bezpečnostní přeliv byl situován na boku hráže a jeho odtok vedl do kaskádových schodů. Současně s výstavbou hráže probíhalo i ražení propojovací štoly, která dodnes spojuje Bílou Desnou s vodní nádrží Souš. V průběhu výstavby vypukla 1. světová válka, což vedlo k výrazným finančním a materiálovým úsporám a ke zpomalení prací. Což se ovšem promítlo i na kvalitě stavby (Žák, 2006).

Technické parametry

Šířka hráze v základu	54 m
Šířka hráze v koruně.	5,2 m
Výška hráze (nad terénem)	13,16 m
Délka v koruně	172,80 m
Nadmořská výška (kóta) koruny	820 m n. m
Objem tělesa hráze	310 920 m ³

Tabulka Č.5.: Technické parametry přehrady Bílá Desná.

(http://www.jizerky.eu/bila_tech.php)



Obr. Č. 13.: Historická fotografie zachycující přehradní hráz po protržení (1916).

(http://fotohistorie.cz/Liberecky/Jablonec_nad_Nisou/Desna/Default.aspx?photoID=25341#detailnext)

Popis katastrofy

V září 1915 bylo dílo dokončeno. Téměř o rok později, dne 18.9.1916 v 15:30 byl hrázný upozorněn na zhruba 2 cm velký pramen vody, který vyvěral přímo z tělesa hráze nad portálem u výpustního objektu ve středu hráze. Následovaly pokusy o zmírnění tlaku vody na konstrukci otevřením výpustních uzávěrů. V čase 15:55 byli dělníci odvoláni do bezpečí, protože voda již silně tryskala. O dvacet minut později se propadlo kamenné obložení návodního líce a hráz byla zcela protržena. Průrva, která vznikla erozní silou proudu vody, byla ve výsledku 18 m široká. Katastrofická povodeň zpusťovala celé údolí a škody byly znatelné až k Železnému Brodu. Událost si vyžádala šedesát sedm lidských obětí a kolem sta zničených nebo výrazně poškozených domů (Žák, 2006).

Jak uvádí Žák (2006), roku 1917 byla vypracována kritická analýza A. Smrčkem, kde je uvedena řada nedostatků, jenž vedly ke kolapsu hráze. Uvedl, že šířka hráze v základě byla nedostačující a umožnila tak zvýšenou rychlost prosakování vody v podloží. Nevhodně byl zvolený materiál pro výstavbu tělesa hráze, z hlediska jeho těsnících vlastností. Chybné byla dle něj bylo i umístění výpustního objektu (věže), který protínal návodní těsnění pod úrovní vodní hladiny. Špatné založení odtokové štoly na pilotovém roště způsobil rozdílné sedání hráze a inicioval tak vznik příčných trhlin tělese hráze. Beranění těchto pilot také mohlo způsobit zvýšení propustnosti okolní zeminy. Těsnící štětová stěna u návodní paty hráze, nemohla plnit svůj účel, protože byla beraněna do příliš kamenitého materiálu. Nedůsledné ukládání a zhutnění vrstev mocných 40 cm na místo tehdy doporučených 15 cm.

Roku 1996 byl na Bílé Desné proveden doplňkový geotechnický průzkum, který zahrnoval polní zkoušky (georadarové měření, geofyzikální měření a zkoušky dynamickou penetrací) ale i laboratorní zkoušky zeminy, například k zjištění míry propustnosti zemin tělesa hráze. Geofyzikální měření odhalilo neočekávaně hluboké uložení skalního podkladu, a to minimálně 25 m pod bází hráze. Dále byly odhaleny relativně velké stlačitelnosti výplně údolního dna, tvořené eluviem a aluviálními náplavami. S ohledem na mocnost podložních vrstev se pilotový rošt ukázal jako neúčinný. V podélné ose údolí pak pravděpodobně probíhá významný zlom, jehož obě strany mohou mít rozdílné hloubky uložení skalního podkladu. To mohlo způsobit rozdílné sedání hráze na obou stranách tohoto zlomu. Dalším faktorem bylo výrazné sedání pod manipulační věží, což vedlo k porušení odtokové štoly (Žák, 2006).

Hlavní příčinou kolapsu bylo zřejmě proudění vody v hrázi skrze predisponovaná místa, která často tvořily různé nehomogenity v konstrukci hutněných vrstev, ale i prolomená místa v návodním těsnění kudy voda pronikala do zemního tělesa. To způsobovalo sufozi (vymývání jemnozrnných částic), která vedla k zvýšenému proudění vody v hrázi. Ke kolapsu pak došlo po propojení predisponovaných míst sufozním kanálem, několik desítek minut poté, co se objevil na návodní straně. Je nutné dodat, že návodní těsnění bylo nedostatečné (Žák, 2006).

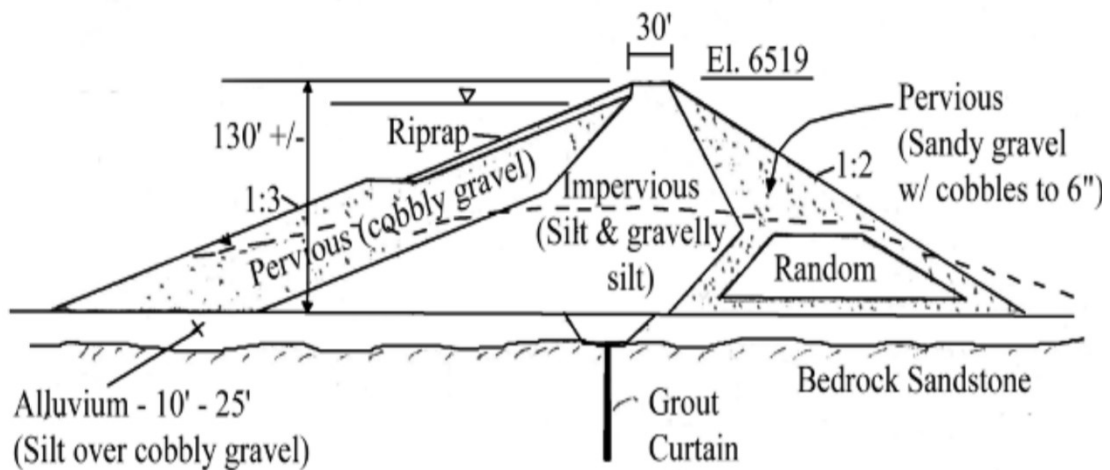
Tato událost představuje největší tragédii spojenou s historií výstavby vodních děl u nás. Stala se mementem pro všechny stavitele přehrad a důvodem pro zvýšenou pozornost věnovanou přípravě i kontrole všech dalších projektů.

O katastrofě a jejích následcích v krajině pod protrženou přehradou se podrobně věnuje práce *The 1916 catastrophic flood following the Bílá Desná dam failure: The role of historical data sources in the reconstruction of its geomorphologic and landscape effects* (Raška a Emmer, 2014).

Současný stav

V současnosti na místě stále stojí pozůstatky hráze, celá manipulační věž a boční části sypaného tělesa (Obr. Č. 20.). V místě bývalé stavby se nyní nachází naučná stezka popisující konstrukci, historii a události spojené s katastrofou. Propojovací štola dokončená roku 1915 dodnes slouží svému původnímu účelu, tj. převádění nadměrných povodňových průtoků do nádrže Souš. Voda je v současnosti přiváděna do štoly z rozvaděče na jezu na Bílé Desné ze vzdálenosti 550 m (Žák, 2006).

4.1.6 Příklad zahraničního kolapsu hráze Teton (USA)



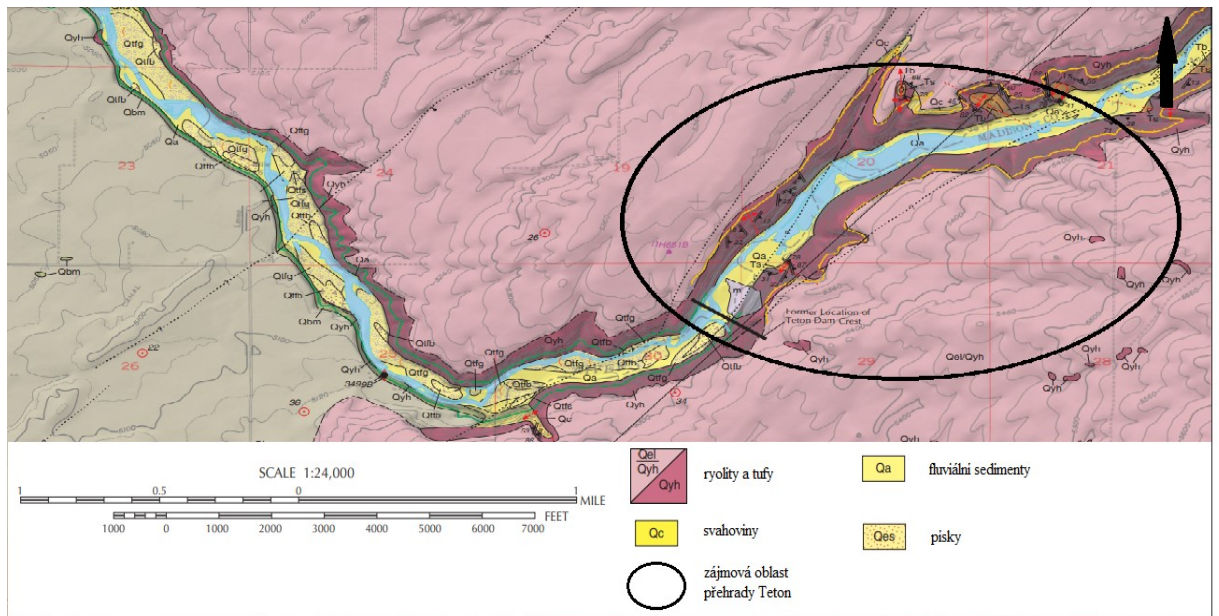
Obr. Č. 13.: Řez konstrukcí hráze přehrady Teton.

(https://damfailures.org/wp-content/uploads/2015/07/065_Fontenelle-Dam-Ririe-Dam-and-Teton-Dam.pdf)

Přehradní hráz Teton z amerického státu Idaho byla umístěna ve strmém údolí stejnojmenné řeky Teton. Konstrukce byla zakládána na vulkanickou *Rexburgskou lavici*. Údolí bylo zahloubeno do terciérních vulkanických ryolitů a tufů o relativně velké pevnosti (University of Idaho, 2020). Při koncích hráze byly zastíženy *liparské* sprašové hlíny. Aluviální sedimenty byly zjištěny především v říčním korytě (Geologická mapa oblasti přehrady Teton je k nahlédnutí pod obrázkem č. 14. na straně 43).

Prostředí, do kterého byla hráz zasazena, bylo extrémně propustné, schopné propustit přes 6,3 l/s. Z vrtných průzkumů byl doložen rozsáhlý puklinový systém v podloží, který bylo nutno zatěsnit, aby docházelo k co nejmenším průsakům vody. Následně byla provedena injektážní clona základové spáry, pomocí dvaceti tří vrtů. Přítomné spraše byly otestovány a vyhodnoceny tak, že měly dobrou pevnost a velmi nízkou propustnost ($5 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$). Bylo rozhodnuto, že sprašové hlíny budou použity v rámci úspor na výstavbu sypaného tělesa hráze (Smalley, 1992).

Samotná hráz byla sypaná zemní, s propustným materiálem v jádru konstrukce. Materiálem stabilizační části byly hlinité šterky a písky, smíšené materiály a izolační vrstvy tvořily sprašové hlíny, obložené kamennou rovnáninou. Mezi jednotlivými konstrukčními vrstvami nebyly realizované žádné přechodové zóny. Ke snížení průsaků pod patou návodního líce byl vybudován těsnicí předsyp, který byl odvodňován přes spodní drenážní systém, jenž navazoval na hlavní drény v podzákladí celé hráze (Smalley, 1992).



Obr. Č. 14.: Výřez z geologické mapy Newdale Quadrangle, Fremont a Madison Countries, Idaho (USA) (Embree et al., 2011).

Popis katastrofy

V roce 1975 byla přehrada dokončena a listopadu téhož roku se začala napouštět. Na jaře 1976 došlo k prudkému nárůstu výšky hladiny v přehradě. Dne 4.6.1976 byly zaznamenány úniky vody a 5.6.1976 se u paty a na pravé straně hráze objevily znatelné průsaky vody. Následně se voda v odtokovém prostoru zabahněla a rychlost průtoku dosahovala až $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Objevily se bahnitě výrony na vzdušné straně pravého břehu a rozšířily se do výšky 2/3 hráze. V ten den byla výška hladiny evidována 9,14 m pod úrovní koruny hráze. Kolem poledne tryskající voda vytvořila průrvu, kterou již nebylo možné utěsnit, a došlo ke kolapsu hráze. Z vodního díla tehdy uniklo přes 308 mil. m^3 , průtokem přesahující $28\,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Arthur, 1977).

V průběhu událostí nebyl plně zkapacitněn výpustní systém, který měl mít dostatečný maximální objem pro eliminaci tehdy akutního průtoku vody a snížení hladiny. Posléze se ukázalo, že drény v podzákladí návodního líce nebyly dostatečně chráněny před zanesením a postupně byly zaizolovány bahnitými nánosy (Smalley, 1992).

Tato událost ovlivnila další vývoj vodního inženýrství. Ze závěrečných zpráv vyplynuly následující návrhy. Sprašové materiály by neměly být použity pro výstavbu přehrad, především jsou nevhodné jako těsnící prvky, protože nesplňují požadované vlastnosti. I po zhutnění zůstává tento materiál diletantní. Pokud jsou sprašové hlíny do konstrukce použity, měly by být upravené tak, aby byla jejich pevnost zvýšena. Výsledný materiál by měl být soudržný a plastický (Smalley, Dijkstra, 1991).

Porovnání podobností díla na Bílé Desné a přehradu Teton

Obě díla měla sypanou zemní konstrukci tvořenou hlavně z místních materiálů. V obou případech nebyl postup výstavby důsledný a vznikly tak konstrukční chyby, které za působení nepříznivých přírodních vlivů vedly ke kolapsům obou hrází.

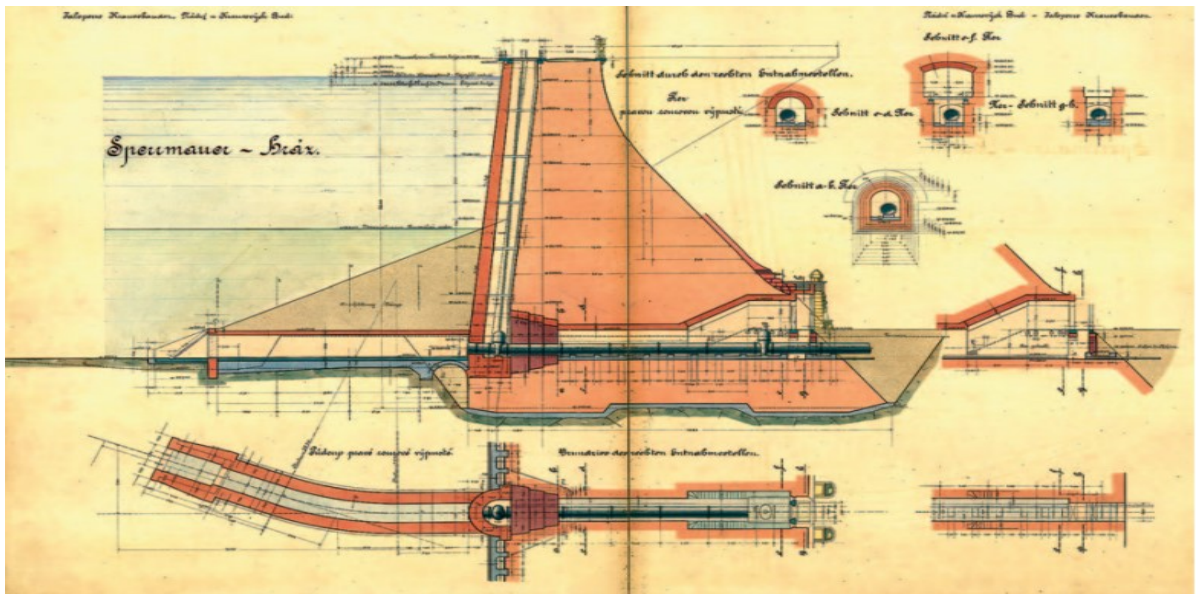
V případě amerického díla šlo především o použití nevhodných materiálů se špatnými technickými vlastnostmi. Dalším faktorem bylo zanášení drénů bahnem, což vedlo k navyšování hydrostatických tlaků u paty hráze a k prudkému nárůstu hladiny. V Bílé Desné je příčina kolapsu hráze přisuzována nevhodnému hutnění příliš mocných vrstev hlinitých materiálů v kombinaci s nedůsledným provedením návodního těsnícího pláště a neznalostí hydrogeologických poměrů prostředí.

V obou případech šlo o kombinaci vlivů lidského faktoru a nepříznivých přírodních podmínek.

4.2 Přeprada Krkonoš

Jediným příkladem Intzeho přeprady v Krkonoších, která se nachází na území České republiky a jakou se tato práce zabývá, je přeprada Labská.

4.2.1 Přeprada Labská



Obr. Č. 15.: Ukázka historického příčného profilu přeprady Labská.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_labska.pdf)

Kvůli opakovaným povodním, které postihovaly oblast středních a východních Krkonoš, vyvrcholených katastrofickou událostí v roce 1897, byla v letech 1910–1916 vybudována tato první přeprada na toku Labe (vzdálena 11,6 km od pramene Labe). Účelem vodního díla bylo především zachycování povodňových vln a snížení jejich účinku. Dále zajišťovala stálost minimálního průtoku ve výši $0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V současnosti dílo slouží jako protipovodňová ochrana a pro vodohospodářské účely. Další možnosti využití nabízí k rekreačním účelům a vodním sportům, rybářskému hospodářství (Pukl, 2020).

Stavba byla realizována firmou *Reitlich a Berger* za honorář 3,5 mil. korun rakouských. Výstavba byla zahájena vybudováním přeprážky a výlomem štoly v levé straně údolí pro převádění říčních průtoků mimo staveniště. Hráz je založena na ortorulách, a to v hloubce 4-7 m pod povrchem navětralého skalního masivu. Přepradní hráz je zděná tížná, vystavěná podle 2. Intzeho principu. Založení proběhlo na skálu upravenou do schodovitého tvaru. Kámen pro výstavbu byl dodáván z místního rulového lomu.

Oba hrázní líce byly stavěny dvěma způsoby, kdy jedna část byla skládána z lomového kamene a druhá byla rovnána do řádkového zdiva. Těsnícími prvky návodního líce hrázní stěny byla cemento-trasová omítka a siderostenový nátěr (Pukl, 2020).

Odtokový tunel byl vyražen do prosté skály a jeho celková délka činila 149,35 m o rozměrech 7x7 metrů. V tunelu byly umístěny dvě základové výpusti, levá sloužící k vypouštění vody (o kapacitě 11,6 m³.s⁻¹) a pravá, která byla na vtoku zabetonována. V tělese je dále situováno dalších pět nezávislých výpustí, které ústí do odtokového tunelu (o celkové kapacitě 89,9 m³.s⁻¹). Bezpečnostní korunový přeliv o čtyřech polích je situován při pravém boku hráze. Přelivové koruny jsou obloženy žulovými kvádry. Přelivné hrany mají světlou šířku 9,90 m. Dalším bezpečnostním prvkem se stal šachtový přeliv, vybudovaný u levého břehu nádrže (za domkem hrázného), který je zděný lomovým kamenem a byl opatřen česlovou stěnou. V dalších letech pak bylo instalováno hydroenergetické zařízení pod hrází.

Technické parametry

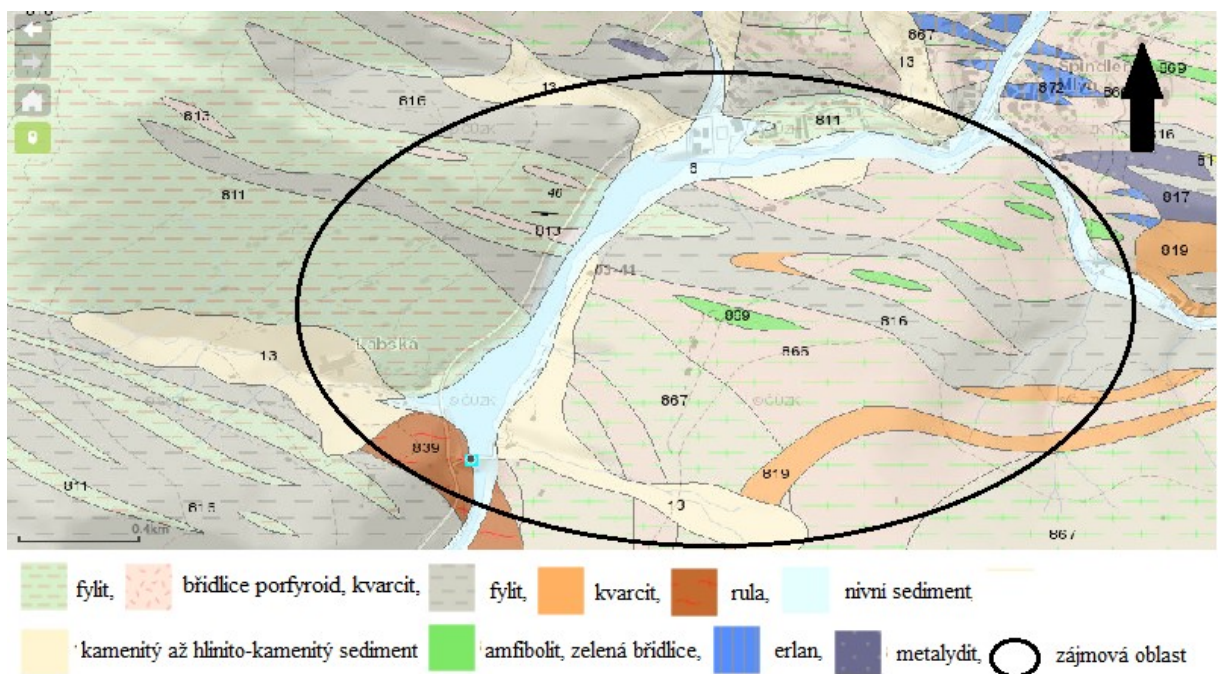
Plocha povodí	60,54 km ²	Zatopená plocha	23,60 ha
Průměrný průtok (všech přítoků)	0,505 m ³ .s ⁻¹	Zásobní objem nádrže	0,756 mil. m ³
Výška hráze (nad základovou spárou)	41,50 m	Ochranný objem nádrže	2,476 mil. m ³
Výška hráze (nad terénem)	21,00m	Celkový objem nádrže	2,916 mil. m ³
Délka v koruně	153,50 m	Maximální kapacita spodní výpusti	175 m ³ .s ⁻¹
Nadmořská výška (kóta) koruny	694,16 m n. m	Typ bezpečnostního přelivu	A) nehrazený korunový přeliv, B) Šachtový přeliv
Objem tělesa hráze	211 000 m ³	Maximální kapacita bezpečnostních přelivů	A) 74 m ³ .s ⁻¹ B) 79 m ³ .s ⁻¹
Hydroenergetické zařízení	Ano	Instalovaný výkon vodní elektrárny	Neznámý

Tabulka Č.6.: Technické parametry přehrady Labská.

(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_labska.pdf); (PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.)

Inženýrskogeologické poměry

Horniny skalního podloží spadají mezi metamorfované horniny velkoúpské skupiny. Při pravém břehu hráze byly zastiženy zdravé biotit-muskovitické ortoruly (tzv. krkonošské ruly). Na levém břehu byly zastiženy chlorit-muskovitické fylity šedé barvy, které v hloubce kolem 6 m přecházejí do zvětralých sericit-chloritických fylitů pískového charakteru. Fylity v podzákladí jsou charakterizovány svrchu jako rozložené až silně navětralé charakteru štěrkových jíílů až jílových štěrků se zachovalou strukturou původní horniny. Jsou rezavě hnědé s hojnou slídou. Silně zvětralé fylity jsou hustě rozpukané a málo pevné, úlomky lze lámat v ruce. Dle klasifikace ČSN 73 6133 se jedná o horninu třídy R6 u silně zvětralých fylitů až R5 (CHEMCOMEX, 2017).



Obr. Č.: 24. Výřez z geologické mapy ČR (ČGS, 2021), znázornění geologické situace v oblasti přehrady Labská.

(<https://mapy.geology.cz/geocr50/>)

Mírně zvětralé fylity jsou hojně rozpukané s jílovitou výplní puklin. Byly zastiženy pouze vrtem J4. V souladu s ČSN 73 6133 jsou řazeny do třídy R4 až R3. Zdravá ortorula byla zastižena na pravém břehu, je středně zrnitá s křemennými žilkami, bílošedá. Masivní, velmi pevná. Úlomky lze pouze otloukat kladivem. Dle členění ČSN 73 6133 patří hornina do třídy R2 až R1. Hlouběji se vyskytují zvětralé sericit-chloritické fylity s hojnými křemennými žilkami.

Kvartérní pokryv tvoří deluviální sedimenty, úlomkové sutě charakteru jílu, převážně tuhé konzistence. Štěrkovité jíly až převážně jílovité štěrky jsou tvořené úlomky a kameny částečně opracovaných fylitů o velikosti do 20 cm s jílovitou výplní převážně tuhé konzistence (CHEMCOMEX, 2017).

Pohyb podzemní vody je v zájmovém území vázán na deluviální sedimenty a rozložené partie skalního podkladu, kde je vytvořena průlinová zvodeň, která byla ověřena vrty poblíž levobřežního šachtového přelivu. V místech, kde byl kvartérní pokryv odstraněn, je pohyb podzemní vody definován puklinovým systémem a poruchovými zónami (CHEMCOMEX, 2017).

Rekonstrukce

Těleso hráze funguje od doby výstavby bez významnějších problémů. Zásadní rekonstrukce byla provedena v průběhu let 2017-2019 za účelem zvýšení retenční funkce díla. Jednalo se hlavně o zkapacitnění spodních výpustí, resp. nahrazení původních pěti výpustí (DN 1100) dvěma kapacitními výpustěmi (DN 2000) a jednou výpustí (DN 800). Nyní zařízení odpovídá normám i vyhláškám o převádění průtoků (minimálních i povodňových). Současně byl prováděn druhý hlavní stavební zásah, úprava dna odtokové štolky a zajištění jejího výrubu. Přirozená horninová klenba a dno štolky byly hornickým způsobem rozšířeny (Pukl, 2020).

Opravy si vyžádal i stav levobřežní zdi pod vyústěním odtokové štolky. Původní zděná konstrukce vykazovala nepřirozené vyboulení, spárování mezi kamennými bloky bylo poškozeno a jednotlivé kameny byly často uvolněny. Původní degradované zdivo bylo v šikmé části navazující na portál štolky odstraněno. Následovalo zajištění stability líce horninového masivu za opěrnou zdi, pomocí systému skalních hřebů a sítí. Poté byla zhotovena nová železobetonová opěrná zeď, která byla obložena původním kamenným obkladem.

Za novou opěrnou zdi byl na obnaženou skalní plochu vybudován systém plošného odvodnění pomocí odvodňovacích pásů, který navazoval na nový drenážní systém zdiva. Za rubem obnovené římsy zdi bylo po celé délce provedeno odvodnění z nově vybudovaných žlabových tvárnic. Kameny vodorovné části levobřežní zdi byly důkladně očištěny, opraveny a znovu zaspárovány. Dále byla provedena nízkotlaká injektáž a nové ukotvení této zdi ke skalnímu podkladu. Společně s obnovou odvodnění zdi ve formě byly převrtány i původní odvodňovací trubky (Pukl, 2020).

5 Zhodnocení výstavby Intzeho přehrad

Z inženýrskogeologického hlediska dnes přípravu přehradních děl rozdělujeme na vyšetřování základových podmínek v místě přehradního profilu a inženýrskogeologických poměrů v rozsahu celé zátopy.

V profilu hráze se průzkum zaměřuje zejména na zjištění geologické stavby, geotechnických parametrů pro založení konstrukce, hydrogeologického režimu, propustnosti prostředí v různých hloubkových úrovních, technologické vlastnosti zemin a hornin apod. (Fell et. all. 2005). Vedle odkryvných prací se při průzkumu ve velké míře využívají i vodní tlakové zkoušky a karotážní měření. V rozsahu budoucí zátopy se vyšetřují inženýrskogeologické poměry pro zhodnocení stability svahů před napuštěním a po napuštění, i po dobu provozu vodního díla. Hledají se vhodné zdroje materiálů a vyšetřuje se míra ovlivnění hydrogeologických poměrů v širším okolí, možné úniky vod z nádrže, ovlivnění kvality vody apod.

Intzeho přehrady v zájmové oblasti vznikaly v době, kdy bylo novodobé přehradní stavitelství i inženýrská geologie teprve v počátcích. Stavby byly zakládány takřka výhradně na základě zkušeností projektantů a stavitelů. Přehradní místo bylo vybíráno především dle morfologie území a na základě velmi omezeného průzkumu podloží, zajišťovaného většinou hlavním inženýrem projektu. O rozsahu průzkumných prací však nejsou dnes žádné podrobné informace. Lze předpokládat, že práce se soustředily na průzkumné šachtice a kopané rýhy, kterými byla ověřena především úroveň pevného skalního podloží pro založení hráze. Reakce okolního prostředí na přehradní dílo se v jednotlivých horských oblastech příliš neřešila. Hydrogeologický, či jen spíše hydrologický průzkum byl omezen pouze na povrchové sledování režimu toku, úhrnu ročních srážek. Důležitým aspektem však byla dostupnost a využitelnost stavebních materiálů.

Všechny přehrady, kromě Labské, jsou založeny na granitech. Z pohledu únosnosti jsou granity relativně vhodným základovým materiálem. Problémem je však míra jejich rozpukání a porušení, které je nutné dobře zdokumentovat a zhodnotit jejich vliv na hydrogeologické poměry. Je známo, že se v zájmové oblasti nachází tektonické zlomy, na které jsou vázány další puklinové systémy. Granity jsou také náchylné na přípovrchové rozpukání, které může přejít až do žokových útvarů. Pukliny jsou často vyplněny sedimentárními materiály, které mohou negativně ovlivnit chování celého skalního podkladu, zejména jeho propustnost.

Krkonoško-jizerské granity se dále rozpadají na perk, jenž lze popsat jako nevytřídněný hrubozrnný materiál šterkového charakteru. Tyto zvětralé zóny se mohou vyskytovat i pod zdravou horninou. I zdánlivě pevná a zdravá skála může mít předpoklad k rozsáhlému rozpadu. Zvětralé horniny se rychle rozpadají na jílovité a šterkovito-písčité zeminy (Fell et al., 2005)

Otázka propustnosti podloží nebyla v Intzeho době při přípravě stavby podrobněji řešena. Vodní tlakové zkoušky, dnes běžné při přípravě obdobných staveb, nebyly v té době používány. Otázka snížení propustnosti podzákladí byla řešena vedle důkladného očištění základové spáry a používání nepropustných cemento-trasových malt, zejména Intzeho předsypovým klínem. Jeho účinnost je však velmi omezená, některými autory dokonce vyvrácená (Betzische a Heitefuss1998), (Heitefuss a Kny, 2002), a při výskytu výrazněji propustných hornin klín nebrání průsakům.

Na vodním díle Mšeno bylo kvůli silnému zvětrání skalního podkladu nutné přistoupit k injektážím podzákladí. Aktuálně také probíhá projektu na injektážní sanaci skalního podkladu pod hrází přehrady Harcov. Na ostatních dílech nejsou zatím injektážní opatření nutná.

Intzeho přehrady přes některé výše uvedené nedostatky představují významnou technickou památku z historie vodního stavitelství u nás. Při dobré údržbě a péči slouží bez větších problémů do dnešní doby. Všechna vodní díla jsou v současnosti pod podrobným technicko-bezpečnostním dohledem v souladu s platnou legislativou, a jsou plnohodnotnou součástí hydrogeologické sítě v ČR.

6 Závěr

Intzeho přehrady jsou výjimečnými technickými díly, které byly většinou dobře založeny a kvalitně vystavěny. Výstavby všech jmenovaných přehrad jsou významnými technickými díly dokládající vysokou odbornou úroveň našich předků, kteří k realizaci velmi složitých konstrukcí využívali přednostně místních materiálů.

Konstrukce zděných přehrad byly koncipovány jednoduchým způsobem, což umožňovalo adekvátně reagovat na přírodní podmínky zastížené v místě výstavby. Uvedené přehrady sice musely projít mnohanásobnými opravami, ale při důsledném udržování mohou dobře sloužit i dalších sto let.

Vodní dílo Souš je jediným příkladem stávající sypané zemní přehradní hráze. I přes komplikace spojené s úpravami a potencionálním ohrožením dodnes slouží jako ochrana před povodňovými vodami ze dvou kritických toků a zásobuje vodou desítky tisíc obyvatel.

Katastrofické události spojené s kolapsem hrází na Bílé Desné a Teton jsou významnými historickými událostmi ve světě vodního inženýrství. Z obou těchto neštěstí byly získány zkušenosti pro úpravu pravidel a zpřísnění opatření pro projektování a zajišťování bezpečnosti vodních děl. Je nutné podotknout, že při přípravě tak rozsáhlého projektu, jako je výstavba přehradní hráze, je zapotřebí dbát veškerých aspektů ovlivňující prostředí i stavbu samotnou, jinak by mohlo dojít k dalším katastrofickým událostem.

7 Zdroje

AQUATEST A.S. (2012) Zjišťování kvality hráze a podloží a zjišťování míst průsaků z přehradní nádrže: Karotážní měření pro objasnění aktuálního stavu hráze, zjišťování míst průsaků a zjišťování mechanických a fyzikálních vlastností tělesa hráze a podloží. *Závěrečná práce*. Praha.

ARTHUR, H. G., 1977. Teton Dam Failure, In: *The Evaluation of Dam Safety (Engineering Foundation Conference Proceedings, Asilomar, Nov. 28 – Dec. 3, 1976)*, American Society of Civil Engineers, New York, 523 p. Edited, PP. 61–71, version: http://sylvester.faculty.geol.ucsb.edu/Teton_Dam/narrative.html

Databáze významných geologických lokalit: 1959 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1959>.

Databáze významných geologických lokalit: 1960 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1960>

DEMEK, J.; MACKOVČÍN, P.; BALATKA, B. (2006). Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. vyd. 2. Brno: AOPK ČR. 580 s. ISBN 80-86064-99-9.

EMBREE, G. F., PHILLIPS, W. M., & WELHAN, J. A. (1980). Geologic Map of the Newdale Quadrangle, Fremont and Madison Counties, Idaho. 83844. <https://doi.org/10.1130/2009>.

FELL, Robin & MACGREGOR, P. & STAPLEDON, D. & Bell, G. (2005). *Geotechnical Engineering of Dams*. Balkema.

Geologická mapa 1 : 50 000. In: Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>

HEITEFUSS, C., KNY, H. J., 2002. Underwater work as a means for the rehabilitation of large hydraulic structures under full operation and unrestricted water supply. In: *Reservoirs in a Changing World: proceedings of the 12th Conference of the BDS Hel dat Trinity College, Dublin, 4-8 September 2002*. (Tedd, P.), PP 167-178. Telford T. London.

CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: *Academia*, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor

SIMS, G., P. & TEDD, P. The ICOLD Committee on Rehabilitation of Dams. In: *Changing World: proceedings of the 12th Conference of the BDS Hel dat Trinity College, Dublin, 4-8 September 2002.* (Tedd, P.), PP 390-391. Telford T. London

CHEMCOMEX Praha, a.s. (2017). VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu. Podrobný inženýrskogeologický průzkum. *Závěrečná práce.* Praha.

JACKSON, Donald C. a J. Guthrie BROWN. Dam. Encyclopædia Britannica [online]. Encyclopædia Britannica, 2020, 24.4.2020 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering/The-modern-dam#ref592834>

JETEL, J. (1983). Přípovrchová zóna, in: Svoboda, J. et. al.: Encyklopedický slovník geologických věd, 2, 275, Praha: *Academia*.

JETEL, J. a L. RYBÁŘOVÁ. (1985) Vztah hydrogeochemických a hydrodynamických charakteristik v rozpukaných horninách: závěrečná práce. Praha: *MS Geofond*.

KARPAŠ, Roman. *Jizerské hory*. Liberec: RK, 2009. ISBN 978-80-87100-08-0.

KOLMÍNSKÝ, J & kol. (2003). Geologická a strukturní charakteristika granitoidů z tunelu v Bedřichově v Jizerských horách, *Závěrečná zpráva*. Praha Česká geologická služba, G-Impuls, ÚSM AV ČR, Kloknerův ústav ČVUT, Katedra botaniky PFUK. Praha.

KÖNIG W. (2006). Der Ingenieur als Politiker. Otto Intze, Staudambau und Hochwasserschutz im Einzugsbereich der Oder. In: *Technikgeschichte*, 73. Heft 1, Str. 27–46

KRATOCHVÍL, J. a STARA V. (1990). Přehrady. Vyd. 2. Brno: *Vysoké učení technické*. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0094-3. Str. 12-14

Oblastní plán rozvoje lesů: Krkonoše. Hradec Králové: ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS N. LABEM POBOČKA HRADEC KRÁLOVÉ, 2000.

PUKL. Ing. O. (2020). Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. *Stavebnictví*, Str. 30-38.

SATRAPA, Dr. Ing. L. a Dr. Ing. P. VALENTA. (1997). Wasserbauliche Mitteilungen-Sanierung und Modernisierung von Wasserbauwerken, aktuelle Beispiele aus Deutschland, Polen, der Slowakei und Tschechien: Foundation of the Mseno Dam; Analysis in the study of Remedial Measures. Dresden: *Selbstverlag der Technischen Universität*, ISBN 3-86005-185-7. ISSN 0949-5061

SMALLEY, I. (1992). The Teton Dam: Rhyolite foundation + loess core = disaster. *Geology Today*, 4. DOI: 10.1111/j.1365-2451.1992.tb00347.x.

SMALLEY, I. J., & DIJKSTRA, T. A. (1991). The Teton Dam (Idaho, U.S.A.) failure: problems with the use of loess material in earth dam structures. *Engineering Geology*, 31(2), 197–203. doi:10.1016/0013-7952(91)90006-7

STÁTNI PODNIK, Povodí Labe. Vodní díla: Přehrada Harcov. Povodí Labe [online]. 2011, 24. 2. 2011 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_harcov.pdf

STÁTNI PODNIK, Povodí Labe. Vodní díla: Přehrada Harcov. Povodí Labe [online]. 2011, 24. 2. 2011 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_harcov.pdf

STÁTNI PODNIK, Povodí Labe. Vodní díla: Vodní dílo Bedřichov. Povodí Labe [online]. 2018, 5.11.2018 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_bedrichov.pdf

STÁTNI PODNIK, Povodí Labe. Vodní díla: Vodní dílo Mšeno. Povodí Labe [online]. 2017, 14.06.2017 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_mseno.pdf#page=1&zoom=auto,-206,3461

STÁTNI PODNIK, Povodí Labe. Vodní díla: Vodní dílo Souš. Povodí Labe [online]. 5.12.2018, 2018 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf

BETZIECHE, V., HEITEFUSS, C. (1998). Rehabilitation of old masonry dams at full reservoir level – A comparison of successful rehabilitation projects. In: *The Prospect for Reservoirs in the 21st Century: Proceedings of the Tenth Conference of the BDS Held at the University of Wales, Bangor on 9-12 September 1998*. (Tedd, P.), PP 155-166. Telford T. London.

VOTRUBA, L., BROŽA, V. a KAZDA I. (1978). Přehrady: určeno pro posluchače fakulty stavební. Praha: ČVUT.

VRBA, Ing. O. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

Vzdouvací stavby: Přehrady. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ3/prehrady.html>

WITTKE W., SCHRÖDER D., POLCZYK H., WITTKE M. (2002) Upgrading the stability of three masonry dams in different ways. In: *Proceedings of the international congress on conservation and rehabilitation of dams*, Madrid.

Zaměstnanci Závodu Jablonec nad Nisou, Povodí Labe (ústní sdělení). Jablonec nad Nisou, červenec 2020

ŽÁK, L. (2006). Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. *Liberec: Knihy 555*. ISBN 80-86660-16-8