

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, 19.05.2021

Štěpán Kuba

Tímto bych rád poděkoval svému školiteli Mgr. Jiřímu Routovi, za zaštitění práce a 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. seznámení s rekonstrukčními postupy při opravě koruny hráze.

Abstrakt

Práce se především věnuje tzv. Intzeho přehradám 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 one 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.....	7
2	Charakteristika zájmového území.....	8
2.1	Krystalinikum Jizerských hor a Krkonoš	8
2.1.1	Geologie	8
2.1.2	Hydrogeologie.....	10
2.1.3	Geomorfologie	11
3	Otto Intze	13
3.1	První Intzeho princip.....	13
3.2	Druhý Intzeho princip.....	14
3.3	Zděné hráze.....	14
3.3.1	Popis částí.....	15
3.3.2	Postup Zakládání	15
3.4	Zemní hráze	16
3.4.1	Popis částí.....	16
3.4.2	Postup zakládání.....	17
4	Příklady Intzeho přehrad v oblasti Krkonoš a Jizerských hor	19
4.1	Přehrady Jizerských hor.....	19
4.1.1	Přehrada Bedřichov	19
4.1.2	Přehrada Harcov	22
4.1.3	Přehrada Mšeno.....	25
4.1.4	Přehrada Souš.....	29
4.1.5	Přehradní dílo na Bílé Desné.....	32
4.1.6	Příklad zahraničního kolapsu hráze Teton (USA).....	34

4.2	Přehrada Krkonoš	37
4.2.1	Přehrada Labská	37
5	Závěr	41
6	Zdroje	42

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. Tato práce je věnována inženýrskogeologickému a technickému představení těchto děl. Na počátku jejich výstavby stál renomovaný německý inženýr Otto Intze, jehož představení 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.

2 Charakteristika zájmového území

2.1 Krystalinikum Jizerských hor a Krkonoš

Krkonoško-jizerské krystalinikum leží na území Jizerských hor a Krkonoš. Jedná se o dílčí jednotku lužické oblasti. Na S hraničí s metamorfovanými komplexy kačavského krystalinika a na SZ s horninami lužického plutonu. Na J-JV je překryto permokarbonskými uloženinami a JZ část hraničí s českou křídovou pánví.

2.1.1 Geologie

V krkonoško-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.¹

Jádro Krystalinika, označováno jako velkoupská skupina, je předsvrchnoproterozoického stáří. Tvoří ji mocný komplex svorů a fylitů s výskytem kvarcitových, erlanových, amfibolitových, grafitických a meta-karbonátových vložek. Horninové celky velkoupské skupiny jsou značnou měrou prostoupeny prekambričovými granity, rulami a mladšími variskými granity.²

Krkonoško-jizerské krystalinikum lze rozdělit na dílčí úseky: *jizerský rulový komplex* (prekambričovské horniny ortorulového charakteru s podřadnými svory), *krkonoško-jizerský žulový masiv* (variská posttektonická 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).

¹ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor, str. 13

² CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor, str. 14, 15

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*“ (Obr. Č. 1.).³

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.⁴

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.⁵

Na celém území krkonoško-jizerského krystalinika se v průběhu zalednění vytvářela suťová pole, kterým mohou být příkladem lokality u vodního díla Souš, Smědavská hora, Černý vrch nebo hora Smrk.⁶

³ VRBA, Ing. Otakar. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

⁴ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor, str. 161-175.

⁵ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor, str. 161-175.

⁶ KARPAŠ, Roman a kol. Jizerské hory. 1, O mapách, kamení a vodě. Vyd. 1. Liberec: RK, 2009. 576 s. ISBN 978-80-87100-08-0

2.1.2 Hydrogeologie

Zájmové území je obecně tvořeno velmi málo propustnými horninami. Výjimkou jsou údolní dna vyplněná fluviální, či glacifluviálními sedimenty s řádově vyšší propustností. Obecně platí, že úroveň hladiny podzemní vody v masivu poměrně rychle reaguje na míru intenzity srážek⁷

*„Propustné zóny jsou především přípovrchové, tvořené eluvii a jemnozrnnými hlínami degradovaných minerálů“.*⁸ Kvartérní sedimenty jsou převážně 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.⁹ 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.

Území lze rozčlenit na hydrogeologický masiv, který je tvořen horninami krystalinika bez výrazných, souvislých, hydrogeologických vrstevnatých kolektorů a na méně významné podzemní nádrže podzemní vody ve vrstevnatých kolektorech. Ty se vyskytují např. v neogenních píscích žitavské pánve nebo ve glaci-fluviálních sedimentech na frýdlantských pahorkatinách. Hlavním kolektorem tohoto území je přípovrchová zvětralinová zóna, tvořená často hrubozrnnými šterkovými eluvii, které postupně degradují na jemnozrnné hlíny. Dalším významným typem kolektorů jsou hlouběji zasahující puklinové zóny, kde nepravidelně rozpukané zóny jsou charakteristické pro metakarbonátové vložky, pravidelné rozpukání je typické pro žilná a kvarcitická tělesa.

Žulový masív krkonošsko-jizerské oblasti má mírnou propustnost v hloubkách do 25–30 m.¹⁰ 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.¹¹

⁷ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor (str.188–189)

⁸ Jetel, J. Přípovrchová zóna, in: Svoboda, J. et. al.: Encyklopedický slovník geologických věd, 2, 275, Praha: Academia, 1983

⁹ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor (str.188–189)

¹⁰ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor (str.188–189)

¹¹ CHALOUPSKÝ, Josef. Geologie Krkonoš a Jizerských hor. Praha: Academia, 1989; Základní rysy krystalinika Krkonoš a Jizerských hor (str.188–189)

Chemismus vod krkonošsko-jizerských žul je charakteristický zvýšeným podílem síranů a karbonátů. Reprezentují je například skupiny vod Ca-So₄ nebo Ca-HCO₃. Chemismus vod metamorfických hornin je s převahou zastupován skupinou Ca-HCO₃ (facií C-Ca). Významným zdrojem síranů v hřebenových vodách byly srážkové vody.¹²

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 SZ-JV, 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.).¹³

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 skalními stěny (tzv. jámy), ledovcové trogy 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.¹⁴

¹² JETEL, J. a L. RYBÁŘOVÁ. Vztah hydrogeochemických a hydrodynamických charakteristik v rozpukaných horninách: závěrečná práce. Praha: MS Geofond, 1985

¹³ DEMEK, J.; MACKOVČÍN, P.; BALATKA, B. Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny. vyd. 2. Brno: AOPK ČR, 2006. 580 s. ISBN 80-86064-99-9.

¹⁴ Oblastní plán rozvoje lesů: Krkonoše. Hradec Králové: ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS N. 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.¹⁵

¹⁵ Oblastní plán rozvoje lesů: Krkonoše. Hradec Králové: ÚSTAV PRO HOSPODÁŘSKOU ÚPRAVU LESŮ BRANDÝS N. LABEM POBOČKA HRADEC KRÁLOVÉ, 2000.

3 Otto Intze

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 princip¹⁶ 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. To umožnilo 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.¹⁷ S využitím 1. Intzeho principu bylo jen v tehdejší Německu do roku 1900 založeno více než 500 vodojemů a věžových nádrží.

¹⁶ KÖNIG W. Der Ingenieur als Politiker. Otto Intze, Staudambau und Hochwasserschutz im Einzugsbereich der Oder. In: Technikgeschichte, 73. Jahrgang 2006, Heft 1, S. 27–46

¹⁷ ZANGERMANN, Tino. Bauformen von Wasserhochbehälten. Zangermann [online]. Berlin, 2004 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://www.zangermann.de/proj/waturm/baufrmn.html>

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 směrem do přehrady. Návodní plocha hrázní stěny je potažena těsnicí vrstvou. Odvodnění je řešeno vertikálně, pomocí kamenné vtokové trouby v návodní patě hráze.

Na spodní části návodní strany je tzv. *Intzeho klín* (dále jen předsyp), který slouží k zvýšení těsnění v oblasti paty hráze, kde jsou tlakové účinky na konstrukci největší. Předsyp je tvořený málo propustnými materiály, jako jsou jíly nebo beton.¹⁸

Je nutné podotknout, že v době budování přehrad v krkonošsko-jizerském krystaliniku nebyl inženýrskogeologický průzkum tak důkladný jako dnes. Stavba byla podložena informacemi z velmi jednoduchého geologického průzkumu, který se skládal z kopaných sond a hloubených šachet a šachtic do horniny budoucího základového masivu. Hydrogeologický průzkum byl pouze povrchový, probíhal především měřeními vodního režimu povrchové vody (měřeními průtoků a výšek hladin v tocích).

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.¹⁹

¹⁸ GELHAR, Martina. Talsperren nach dem Intze-Prinzip. KuLaDig [online]. 2016 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <https://www.kuladig.de/Objektansicht/SWB-252513>

¹⁹ Dam construction. Designing Buildings Wiki [online]. 2016, 27.10.2016 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Dam_construction

3.3.1 Popis částí

Průřez gravitačních (tížných) 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*. (Pozn.: mnoho přehrad je nyní vybavena hydrodynamickými turbínami pro výrobu elektrické energie). Z návodní strany předchází hrázní zdi těsnící *předsyp*, který chrání spodní část před vysokými tlakovými účinky.²⁰

Pod *korunou hráze* (horní plochou hráze), v nejnižším bodě kritické výšky hladiny, se nachází *nouzový přeliv*, který v případě nekontrolovatelně velkého objemu vody v nádrži umožňuje 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 (Obr. Č. 4.).²¹

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 a neporušené nebo málo porušené.

Odkrytá a očištěná základová spára, odhalena 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. 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).²²

Zdivo se skládalo z kvalitního lomového kamene, který prošel pečlivým výběrem, aby byl opracovatelný do tzv. kyklopského zdiva nebo vhodný do symetričtějšího řádkového zdiva.

²⁰ 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>

²¹ 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>

²² VRBA, Ing. Otakar. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

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“²³), překrytými kamennou přizdívkou.

V posledních fázích byl budován těsnící předsyp, z velmi málo propustných jílu, který byl z návodní strany pak opatřený kamennou rovnáninou. V horní části u dotyku hrázní zdi s předsypem byla stěna opatřena jílovou vrstvou.²⁴

3.4 Zemní hráze

Tato práce se zabývá pouze jedním typem zemních hrází: *sypanými hrázemi*, kdy je těžena, dopravena na stavbu, uložena a následně hutněna). Tato konstrukce je vhodná spíše pro rozlehlější 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. Je zhotovena ze zeminy specifických fyzikálních vlastností: velká objemová hmotnost a úhel vnitřního tření, malá stlačitelnost a dostatečná objemová stálost. *Těsnící 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. Je možné jej zhotovit např. z jílu, zdiva a cemento-trasové malty, asfaltu nebo také dřeva.²⁵ *Ochranná část* chrání těleso před účinkem vlnobití, vymílání dešťovou vodou i proti větrné erozi.²⁶

²³ PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

²⁴ STÁTNÍ 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

²⁵ Vzdouvací stavby: Přehrady. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/prehrady.html>

²⁶ 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>

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. U menších vodních těles, jako jsou rybníky a malé retenční nádrže, je odtok samovolný. Nouzový přeliv bývá umístěn vedle tělesa hráze a je nižší než koruna. Následně „obchází“ celé těleso až nakonec ústí do výpustného koryta.²⁷

Rozměry průřezu musí odpovídat následujícím kritériům: výpočty stability, průsaky vody pod hrází, 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.²⁸

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. 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.²⁹

Při výkopových pracích je nutné mít nezavodněnou stavební jámu. Toho lze dosáhnout buď snížením hladiny podzemní vody pod úroveň základové spáry, nebo odvodněním pomocí drénů a jímání vývěřů. V další fázi se základová vrstva v požadované úrovni přehutní nebo se přidá vyrovnávací vrstva šterkopísku (běžně v tloušťce vrstvy 300–500 mm).³⁰

²⁷ Vzdouvací stavby: Přehrady. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/prehrady.html>

²⁸ Vzdouvací stavby: Přehrady. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/prehrady.html>

²⁹ Vzdouvací stavby: Zakládání vzdouvacích staveb. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/zakladani_staveb.html

³⁰ Vzdouvací stavby: Zakládání vzdouvacích staveb. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/zakladani_staveb.html

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 šterkem³¹, které tvořily stabilizační část a jílové materiály na navodí sloužily jako těsnění.³² 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 rovnaninou. Těsnící vrstvy mohou tvořit částečnou těsnící stěnu (Obr. Č. 6).³³

³¹ STÁTNÍ 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

³² Vzdouvací stavby: Zakládání vzdouvacích staveb. Vodohospodářská zařízení III [online]. VŠB-TUO, 2013, 2013 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ3/zakladani_staveb.html

³³ STÁTNÍ 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

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 dokončení mnoha z nich nedožil. Výstavba přehrad byla iniciována častými a ničivými záplavami na horských tocích na konci 19. stol. Na tento popud České království (tehdy pod nadvládou Rakousko-Uherské monarchie) vyzvalo pruskou vládu o spoluúčast při ochraně vzájemného pohraničí před katastrofickými povodněmi. Ta 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

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, akumulací zařízení pro energetické a vodohospodářské účely nebo pro rekreační činnosti. Přehrada je ve správě Povodí Labe.³⁴

³⁴ 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

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.³⁵

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 spárkou)	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

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

³⁵ STÁTNÍ 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

Inženýrskogeologické poměry

Dominantní horninou je zde výrazně porfyrický granit, tzv. *monzogranit* jizerského typu. Výrazným rysem této horniny jsou vyrostlice K-živce dosahující délky 5–7 cm.³⁶ Kvartérní pokryv v okolí vodního díla tvoří především nivní sedimenty, které byly zastiženy vrty. Místy se objevují slatiny a rašeliniště (Obr. Č. 10.). Podloží nevykazuje žádné výrazné porušení, rozpukání je zastiženo pouze v prvních metrech.³⁷ Kvalita skalního masivu byla stanovena jako navětralá žula s polohami zdravé žuly s pevností 25–50 MPa.³⁸

³⁶ Databáze významných geologických lokalit: 1960 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998

[cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1960>.

³⁷ 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/>

³⁸ VRBA, Ing. Otakar. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

4.1.2 Přehrada Harcov

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.³⁹

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 hráze 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 zatápní 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 strojovými v koruně hráze. Vtok vody do výpustí je možno regulovat šoupátkovými uzávěry uložených 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.⁴⁰

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 majetkem Povodí Labe.⁴¹

³⁹ STÁTNÍ 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

⁴⁰ STÁTNÍ 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

⁴¹ STÁTNÍ 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

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

(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, krkonošsko-jizerského masivu.⁴² Hlavní podložní horninou je charakteristická hrubozrnná liberecká žula. Kvartérní pokryv v oblasti nádrže Harcov je tvořen nivními fluviálními sedimenty.⁴³ Viz Obr. Č. 14.

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 podzákladích. Na hrázi tak byly prováděny průzkumné práce za účelem jejich ověření. Realizovány byly jádrové vrty, v nichž bylo prováděno karotážní měření. Z karotážních měření tělesa hráze a jeho podloží, provedených v roce 2012 firmou AQUATEST, a. s. bylo zjištěno, že je většina puklin subhorizontálních a uklání se různými směry. Na některých úsecích vrtů byly zaznamenány významné pukliny tektonického původu (bývá pravidlem, že tyto pukliny jsou téměř

⁴² Databáze významných geologických lokalit: 1959 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1959>.

⁴³ 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/>

Z karotážních měření tělesa hráze a jeho podloží, provedených v roce 2012 firmou AQUATEST, a. s. bylo zjištěno, že je většina puklin subhorizontálních a uklání se různými směry. Na některých úsecích vrtů byly zaznamenány významné pukliny tektonického původu (bývá pravidlem, že tyto pukliny jsou téměř nepropustné).⁴⁴ Dále bylo zjištěno, že nejvíce propustné polohy jsou vázány spíše na individuální pukliny, které způsobují značné proudění spodní vody v podzákladí tělesa.⁴⁵

Z hydrokarotážních měření bylo zjištěno, že jednotlivými vrty výrazně proudí voda 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 základové spáry, pravděpodobně jde původně o vodu povrchovou, která se dostala do puklinového systému skrze dno zátopy.⁴⁶

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 štol). Dále se bude přestavovat část hrázního tělesa, včetně korunního přelivu a jeho kaskády. Kvůli plánovanému zmírnění průsaků vody skrze těleso. Se také uvažuje o těsnící injektáži, přímo do zděné části konstrukce. V poslední řadě je nutné zvýšit bezpečnostní kapacitu kvůli povodňovým vodám.

⁴⁴ AQUATEST A.S. Zjišťování kvality hráze a podloží, Závěrečná práce. Praha, 2012. (Zkr.)

⁴⁶ AQUATEST A.S. Zjišťování kvality hráze a podloží, Závěrečná práce. Praha, 2012. (Zkr.)

4.1.3 Přehrada Mšeno

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, ale hlavně se stala symbolem jablonecké rekreace.⁴⁷

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, které nyní vedou přes sypané hrázní propustky, které na severu oddělují jednotlivé části vodní nádrže.⁴⁸

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 výpustními zařízeními, dále pokračuje přes skluz do výpustního vývaru.⁴⁹

⁴⁷ 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

⁴⁸ 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

⁴⁹ 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

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.⁵⁰

Při pravém břehu vodního díla byla vybudována sypaná obvodová hráz, která chránila břeh před erozí spojenou s vlnobitím.⁵¹ 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.⁵²

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 spárou)	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

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

⁵⁰ 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

⁵¹ POVODÍ LABE, Státní podnik a Závod Jablonec nad Nisou. Přehrada Mšeno na Mšenském potoce. Říjen, 2007. Jablonec nad Nisou: GARAMON, 2007.

⁵² POVODÍ LABE, Státní podnik a Závod Jablonec nad Nisou. Přehrada Mšeno na Mšenském potoce. Říjen, 2007. Jablonec nad Nisou: GARAMON, 2007.

Inženýrskogeologické poměry

Z geologického hlediska se těleso nachází v magmatických horninách variského stáří lužické (západosudetské) oblasti, krkonošsko-jizerského masivu.⁵³ Hlavní podložní horninou je hrubozrnná liberecká žula. Kvartérní pokryv v oblasti nádrže je tvořen nivními fluviálními sedimenty. Zakládáno mělo být na zdravý žulový masiv, bez závažnějších poruch.⁵⁴ Během výkopových prací byla zastižena poloha zcela rozrušené a zvětralé žuly (tzv. Granitgruss), s minimální pevností (<1 MPa), která zřejmě nebyla řádně stanovována.⁵⁵

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.

⁵³ Databáze významných geologických lokalit: 1959 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1959>.

⁵⁴ SATRAPA, Dr. Ing. L. a Dr. Ing. P. VALENTA. 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, 1997. ISBN 3-86005-185-7. ISSN 0949-5061

⁵⁵ VRBA, Ing. Otakar. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

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, dále 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 výpustního zařízení instalována malá vodní elektrárna.⁵⁶

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 zahlobena až do podzákladí a kalotou zasahovala až do zděného tělesa. Injektáž 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 výpustí. Dalším bodem byla oprava břehové dlažby a částečné odstranění nánosů v celém prostoru nádrže.⁵⁷

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, kdy 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 šterkodrti. Srážková voda bude odváděna 28 odtoky skrze zdivo návodního líce.

⁵⁶ POVODÍ LABE, Státní podnik a Závod Jablonec nad Nisou. Přehrada Mšeno na Mšenském potoce. Říjen, 2007. Jablonec nad Nisou: GARAMON, 2007.

⁵⁷ POVODÍ LABE, Státní podnik a Závod Jablonec nad Nisou. Přehrada Mšeno na Mšenském potoce. Říjen, 2007. Jablonec nad Nisou: GARAMON, 2007.

4.1.4 Přehrada Souš

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 27.12.1904 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.⁵⁸

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 rovnaninou. Osa bývalého řečiště pod hrázní konstrukcí byla v patě přehrazena jílovou patkou. Vzdušná strana byla také obložena kamennou rovnaninou.⁵⁹

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.⁶⁰

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.

⁵⁸ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8, str. 52-57

⁵⁹ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8, str. 52-57

⁶⁰ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8, str. 52-57

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 rovnáninou. Jílová patka těsnící bývalé říční koryto byla nahrazena betonovou zdí, zasahující do hloubky 8 m.⁶¹

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 spárkou)	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

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

⁶¹ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8, str. 52-57

Inženýrskogeologické poměry

Hlavní horninou je výrazně porfyrický granit, tzv. *monzogranit*, jizerského typu, jehož výrazným rysem této horniny jsou vyrostlice K-živce dosahující délky 5–7 cm.⁶² Dalším typem přítomných hornin jsou granodiority, které po zjištěné hranici přechází do granitoidů. Ta se táhne ze severo-východního směru a uklání se k jihu, kde těsně míjí vlastní dílo Souš. Kvartérní pokryv okolí vodního díla tvoří nivní sediment. Místy se objevují slatiny a rašeliniště (Obr. Č. 18.).⁶³ Kvalita skalního masivu byla stanovena jako zdravá žula s polohami navětralé žuly o pevnosti 10–50 MPa.⁶⁴

⁶² Databáze významných geologických lokalit: 1960 [online]. Praha: Česká geologická služba, 1998 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/1960>.

⁶³ 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/>

⁶⁴ VRBA, Ing. Otakar. Problematika zakládání Intzeho přehrad z pohledu současné geotechniky. Praha, Geotechnika a.s.

4.1.5 Přehradní dílo na Bílé Desné

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. Ing. Ten však před zahájením projektování těžce onemocněl a téměř o tři měsíce později zemřel. Hlavním projektantem se stal Ing. Wilhelm Plenkner z Prahy.⁶⁵ 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 hrázní konstrukci na vrstvách ztuhnutých usazenin. 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 šterků, které byly válcovány. Návodní strana byla opatřena izolační jílovou vrstvou obloženou kamennou rovnaninou. Bezpečnostní přeliv byl situován na boku hráze a jeho odtok vedl do kaskádových schodů. V současné době 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. To se ovšem promítlo i na kvalitě stavby.⁶⁶

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

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

⁶⁵ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8

⁶⁶ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrady a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8

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 erozí silou proudu vody byla ve výsledku 18 m široká (Obr. Č. 22.). 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.⁶⁷

Příčinou kolapsu hráze byla kombinace faktorů. Zejména zřejmě podcenění přírodních poměrů v místě zakládání, kde se nacházela významná porucha skalního podkladu, kterou ukázaly až novodobé výzkumy. Působení průtoku puklinové vody mohlo vést k sufozi základových materiálů. Dále svou roli sehrálo i nedůsledné zhutnění sypaných vrstev hráze. Nízká kvalita těsnění na návodním líci v kombinaci s příliš strmým sklonem sypaného tělesa nemohla dostatečně odolávat tlakům, kterým bylo vystavováno při napuštění.

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.

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 katastrofy. Propojovací štola dokončena roku 1915 dodnes slouží svému původnímu účelu, 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.⁶⁸

⁶⁷ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrad a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8

⁶⁸ ŽÁK, Ladislav. Jizerskohorské přehrad a katastrofa na Bílé Desné-protržená přehrada. Liberec: Knihy 555, 2006. ISBN 80-86660-16-8

4.1.6 Příklad zahraničního kolapsu hráze Teton (USA)

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 pevnosti⁶⁹. Při koncích hráze byly zastiženy *liparské* sprašové hlíny. Aluviální sedimenty byly zjištěny především v říčním korytě. 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.⁷⁰

Samotná hráz byla sypaná zemní, s propustným materiálem v jádru konstrukce. Materiálem stabilizační části byly hlinité štěrky a písky, smíšené materiály a izolační vrstvy tvořily sprašové hlíny, obložené kamennou rovnatinou. 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.⁷¹

⁶⁹ Interactive geological map of Idaho: In Idaho geology survey [online]. Moscow office, University of Idaho. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.idahogeology.org/webmap/#>

⁷⁰SMALLEY, I. The Teton Dam: Rhyolite foundation + loess core = disaster. *Geology Today*. 1992, 1992, 4. DOI: 10.1111/j.1365-2451.1992.tb00347.x.

⁷¹SMALLEY, I. The Teton Dam: Rhyolite foundation + loess core = disaster. *Geology Today*. 1992, 1992, 4. DOI: 10.1111/j.1365-2451.1992.tb00347.x.

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 zabahnila 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 $28\,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.⁷²

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.⁷³

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 těsnicí 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.⁷⁴

⁷² Arthur, H. G., 1977. Teton Dam Failure, pp. 61–71, 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 version: http://sylveste.faculty.geol.ucsb.edu/Teton_Dam/narrative.html

⁷³ SMALLEY, I. The Teton Dam: Rhyolite foundation + loess core = disaster. *Geology Today*. 1992, 1992, 4. DOI: 10.1111/j.1365-2451.1992.tb00347.x.

⁷⁴ 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

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 vina kolapsu hráze přisuzována nevhodnému hutnění příliš mocných vrstev hlinitých materiálů, v kombinaci s neznalostí hydrogeologických poměrů prostředí.

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

4.2 Přehrada Krkonoš

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

4.2.1 Přehrada Labská

Kvůli opakovaným povodním, které postihovaly oblast středních a východních Krkonoš vyvrcholených katastrofickou událostí v roce 1897, byla v letech 1910–1916 vybudována tato první přehrada 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 naskytly rekreační aktivity, rybí hospodářství nebo vodní sporty.⁷⁵

Stavba byla realizována firmou *Reitlich a Berger* za honorář 3,5 mil. korun rakouských. Výstavba byla zahájena vybudováním přehrážky 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. Přehradní hráze 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. Těsníci prvky návodního líce hrázní stěny byla cemento-trasová omítka a siderostenový nátěr.⁷⁶

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 $11,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a pravá, která byla na vtoku zabetonována. V tělese je dále situováno dalších pět nezávislých výpustí, které ústí do odtokového tunelu (o celkové kapacitě $89,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Bezpečnostní korunový přeliv o čtyřech polích je situován při pravém boku hráze. Přelivové koruny jsou obloženy žulovými kvádry. Přelivné hrany mají světlost 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.

⁷⁵ PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

⁷⁶ PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

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

(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.⁷⁷ Fylity v podzákladí jsou charakterizovány svrchu jako rozložené až silně navětralé charakteru šterkových jílu až jílových šterků 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 R5.⁷⁸

⁷⁷ CHEMCOMEX Praha, a.s. VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná práce. Praha, 2017.

⁷⁸ CHEMCOMEX Praha, a.s. VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná práce. Praha, 2017.

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 ověřena vrty J1 až J3 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 R1.⁷⁹ 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.⁸⁰

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.⁸¹

⁷⁹ CHEMCOMEX Praha, a.s. VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná práce. Praha, 2017.

⁸⁰ CHEMCOMEX Praha, a.s. VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná práce. Praha, 2017.

⁸¹ CHEMCOMEX Praha, a.s. VD Labská Ochrana korunového a šachtového přelivu Podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná práce. Praha, 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 štolý a zajištění jejího výrubu. Přirozená horninová klenba a dno štolý byly hornickým způsobem rozšířeny.⁸²

Opravy si vyžádal i stav levobřežní zdi pod vyústěním odtokové štolý. 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 štolý 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.⁸³

⁸² PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

⁸³ PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

5 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 realizaci velmi složitých konstrukcí využívali přednostně místních materiálů.

Konstrukce zděných přehrad byly koncipovány jednoduchým způsobem, což umožňovalo adekvátně reagovat na přírodní podmínky zastižené 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 byla přijata určitá opatření a pravidla, podle kterých se dodnes projektují nová vodní díla. Je nutné podotknout, že při přípravě tak rozsáhlého projektu jako je výstavba přehradní hráz, je za potřebí dbát na veškeré aspekty ovlivňující prostředí i stavbu samotnou, jinak by mohlo dojít k dalším katastrofickým událostem.

6 Zdroje

Literární zdroje

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

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

KARPAŠ, Roman a kol. Jizerské hory. 1, O mapách, kamení a vodě. Vyd. 1. Liberec: RK, 2009. 576 s. ISBN 978-80-87100-08-0

Jetel, J. Přípovrchová zóna, in: Svoboda, J. et. al.: Encyklopedický slovník geologických věd, 2, 275, Praha: Academia, 1983

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

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

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

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

PUKL, Ing. Olgerd. Zkapacitnění spodních výpustí vodního díla Labská. Stavebnictví. 2020, 2020(04), 30-38.

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

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

SATRAPA, Dr. Ing. L. a Dr. Ing. P. VALENTA. 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, 1997. ISBN 3-86005-185-7. ISSN 0949-5061

SMALLEY, I. The Teton Dam: Rhyolite foundation + loess core = disaster. *Geology Today*. 1992, 1992, 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

Internetové zdroje

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

ZANGERMANN, Tino. Bauformen von Wasserhochbehälten. Zangermann [online]. Berlin, 2004 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <http://www.zagermann.de/proj/waturm/baufrmn.html>

GELHAR, Martina. Talsperren nach dem Intze-Prinzip. KuLaDig [online]. 2016 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: <https://www.kuladig.de/Objektansicht/SWB-252513>

Dam construction. Designing Buildings Wiki [online]. 2016, 27.10.2016 [cit. 2020-08-12]. Dostupné z: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Dam_construction

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>

STÁTNÍ 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

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>

STÁTNÍ 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

STÁTNÍ 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

Databáze významných geologických lokalit: 1960 [online]. Praha: Česká geologická služba,

1998 [cit. 2020-08-10]. Dostupné z: [http:// lokality.geology.cz/1960](http://lokality.geology.cz/1960)

Databáze významných geologických lokalit: 1959 [online]. Praha: Česká geologická služba,

1998 [cit. 2020-08-13]. Dostupné z: [http:// lokality.geology.cz/1959](http://lokality.geology.cz/1959).

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/>

Interactive geological map of Idaho: In Idaho geology survey [online]. Moscow office,

University of Idaho. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://www.idahogeology.org/webmap/#>

STÁTNÍ 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

STÁTNÍ 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

POVODÍ LABE, Státní podnik a Závod Jablonec nad Nisou. Přehrada Mšeno na Mšenském potoce. Říjen, 2007. Jablonec nad Nisou: GARAMON, 2007.

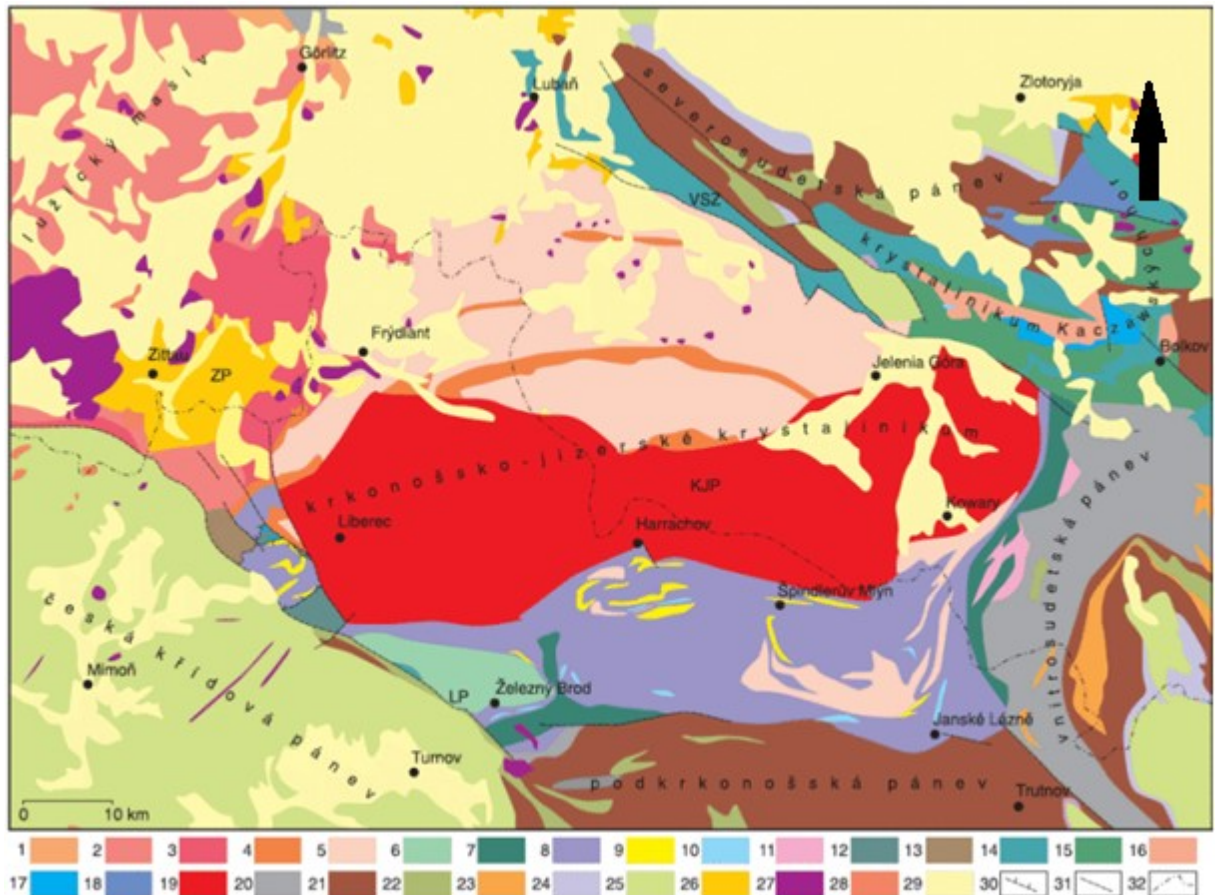
Arthur, H. G., 1977. Teton Dam Failure, pp. 61–71, in The Evaluation of Dam Safety (Engineering Foundation Conference Proceedings, Asilomar, Nov. 28 – Dec. 3, 1976),

American Society of Civil Engineers, New York, 523 p. Edited

version: http://sylvester.faculty.geol.ucsb.edu/Teton_Dam/narrative.html

Přílohy

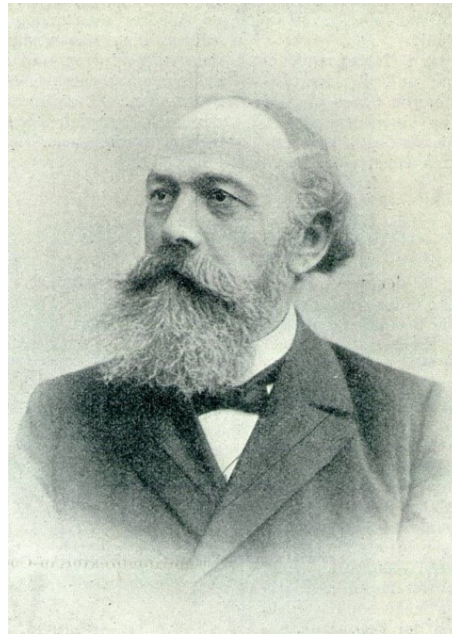
Obr. Č. 1.: Geologická mapa oblasti krkonoško-jizerského krystalinika.



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

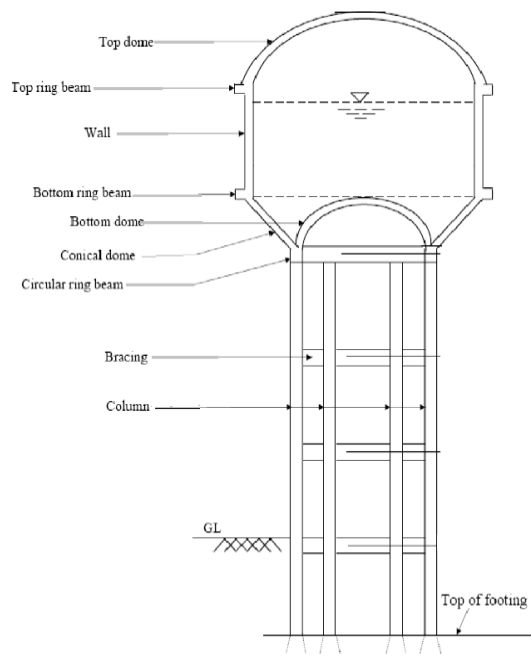
Vysvětlivky: 1 proterozoické droby a břidlice; 2 granitoidy lužického masivu; Krkonoško-jizerské krystalinikum: 3 kambroordovické granitoidy; 4 fylity, svory, metadroby v plášti jizerských ortorul, 5 jizerské a krkonošské ortoruly (vzniklé metamorfózou při variské orogenezi); 6 staropaleozoické sericit-chloritické 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 - krkonoško-jizerský pluton; Postorogenní sedimenty a vulkanity: 20 karbonské klastické sedimenty, 21 permské sedimenty, 22 bazické subaerické vulkanity permokarbonu, 23 kyselá subaerická 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.

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



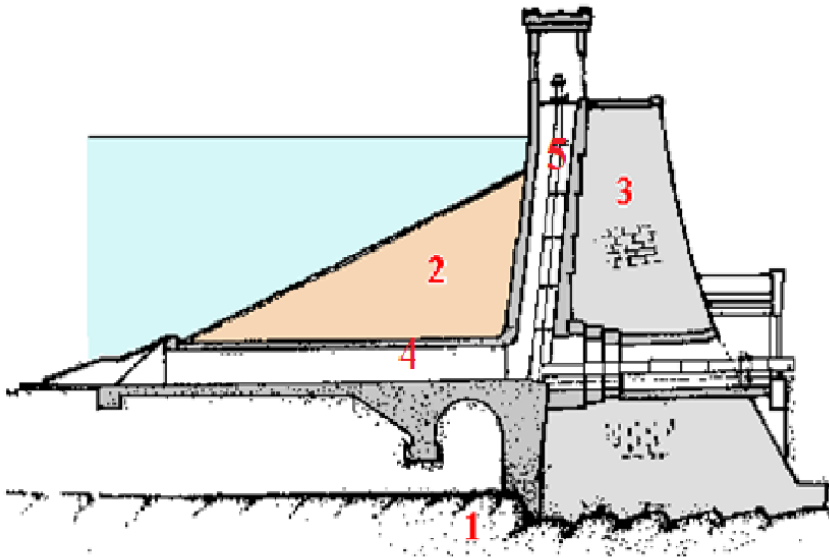
(https://cs.wikipedia.org/wiki/Otto_Intze#/media/Soubor:Otto_Intze.jpg)

Obr. Č. 3.: Vodojem s Provedením podle Prvního Intzeho principu.



(<https://www.semanticscholar.org/paper/Cost-Optimization-of-Elevated-INTZE-Water-Tank-Indhudhar-Shivananda/ef30ac5295e722d43d14c309d118e1f1e6cd0be4/figure/2>)

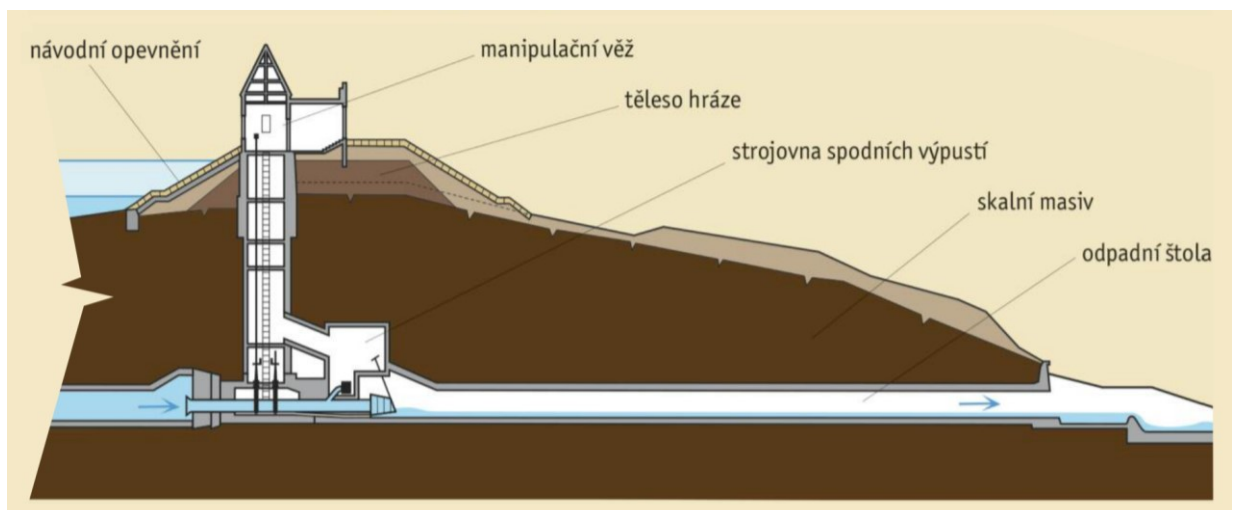
Obr. Č. 4.: Nákres řezu zděné přehrady dle druhého Intzeho principu.



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

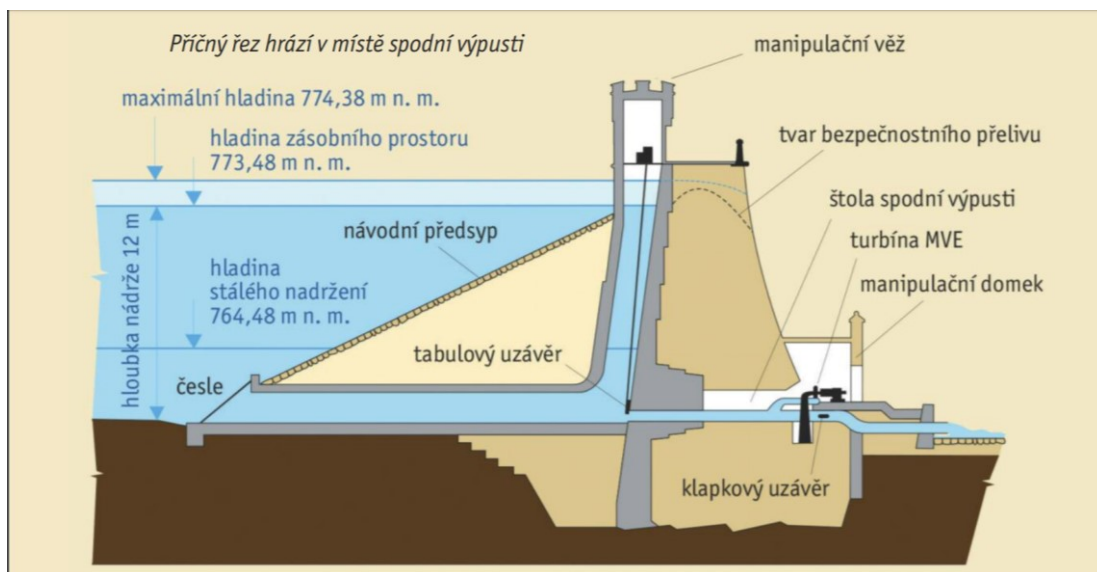
Popisky: 1. skalní podklad, 2. Intzeho klín, 3. hrázní těleso, 4. odpadní štola, 5. manipulační věž

Obr. Č. 6.: Příklad sypané hráze, řez konstrukcí hrází přehrady Souš.



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

Obr. Č. 7.: Řez hrází bedřichovské přehrady



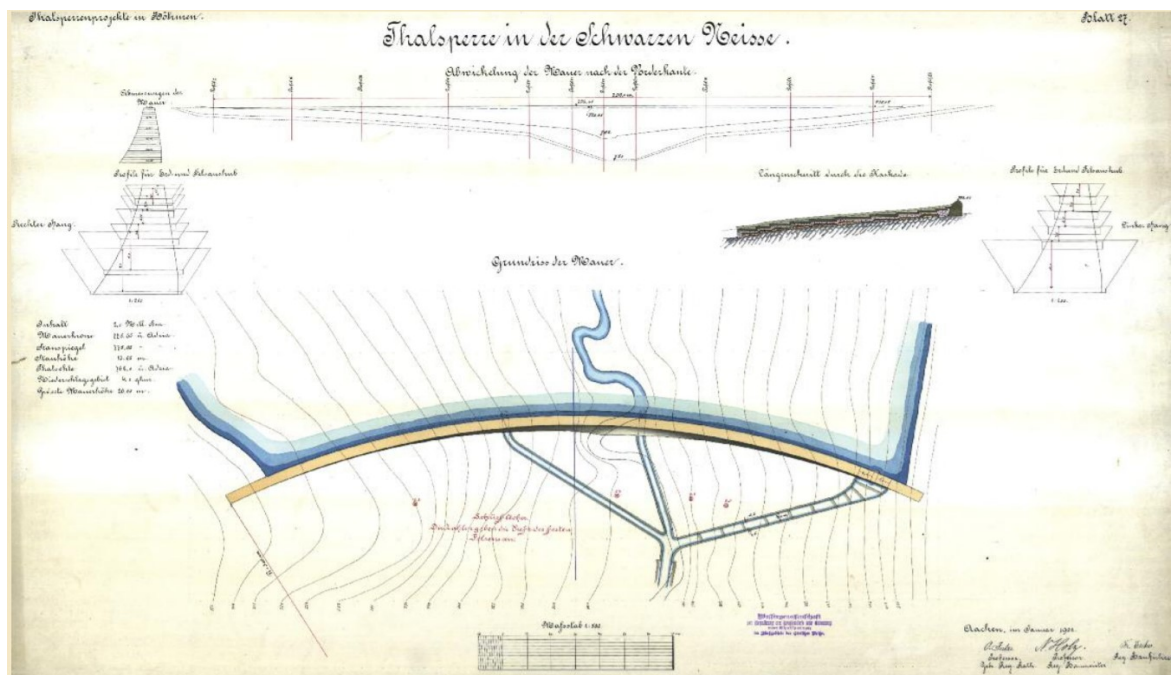
(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_bedrichov.pdf)

Obr. Č. 8.: Historická fotografie z výstavby Bedřichovské hráze.



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

Obr. Č. 9.: Ukázka historické projektové dokumentace přehrady Bedřichov.



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

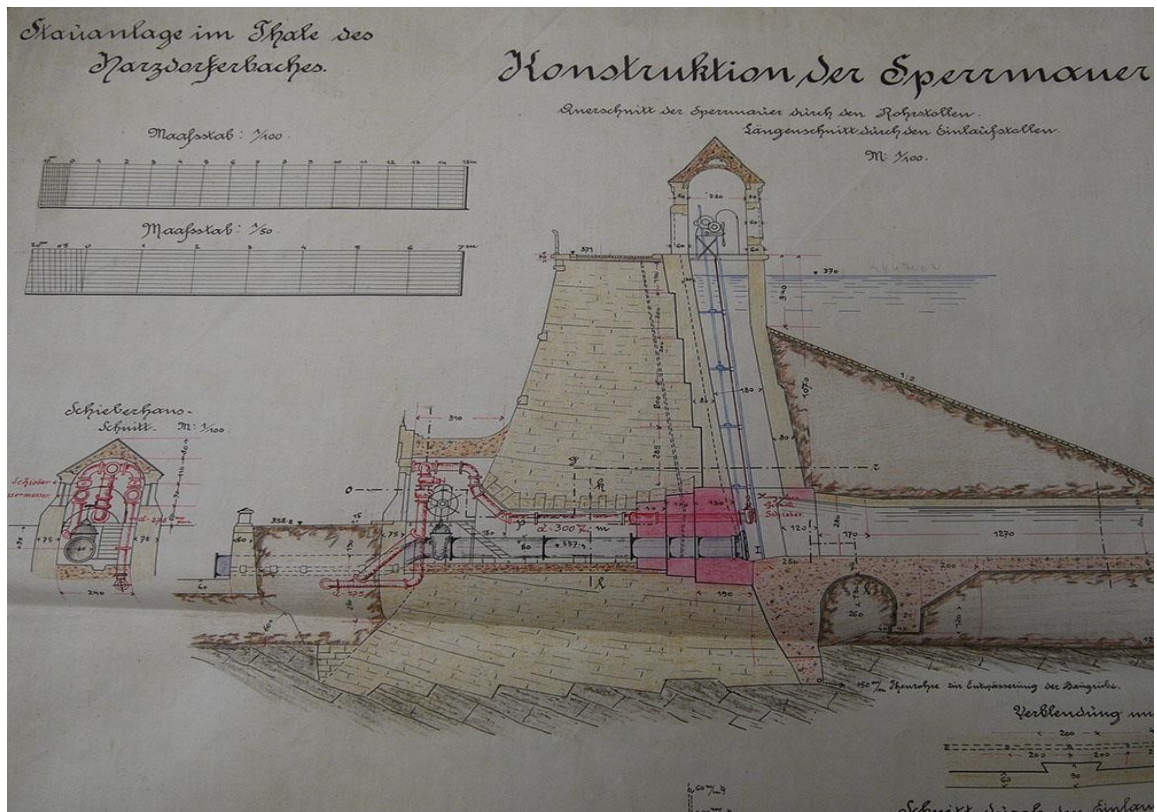
Obr. Č. 10.: Geologická mapa lokality vodního díla Bedřichov.



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

Granity až granodiorit, Nivní sediment, Slatina a rašelin

Obr. Č. 11.: Dobový řez hrázi Harcov.



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

Obr. Č. 12.: Historické zobrazení z finálních fází výstavby Harcovské hráze.



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

Obr. Č. 13.: Historické zobrazení výstavby hráze Harcovské přehrady.



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

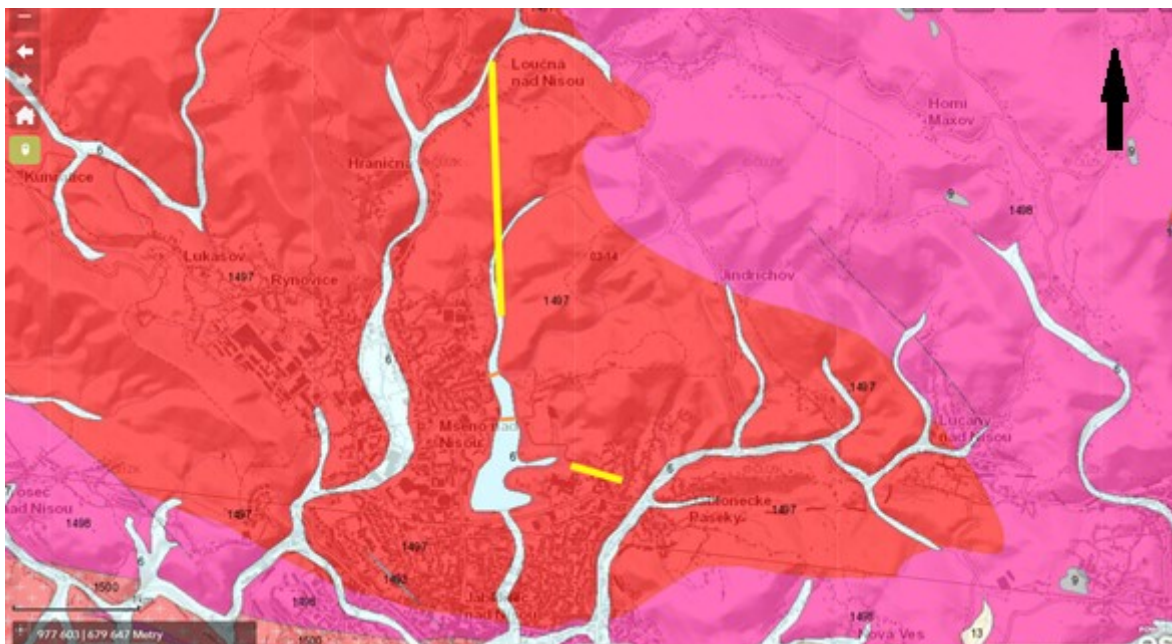
Obr. Č. 14.: Geologická mapa okolí přehrady Harcov.



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

■ Granit, ■ Fluviální sedimenty, modrý ovál vymezuje zájmovou oblast v okolí nádrže.

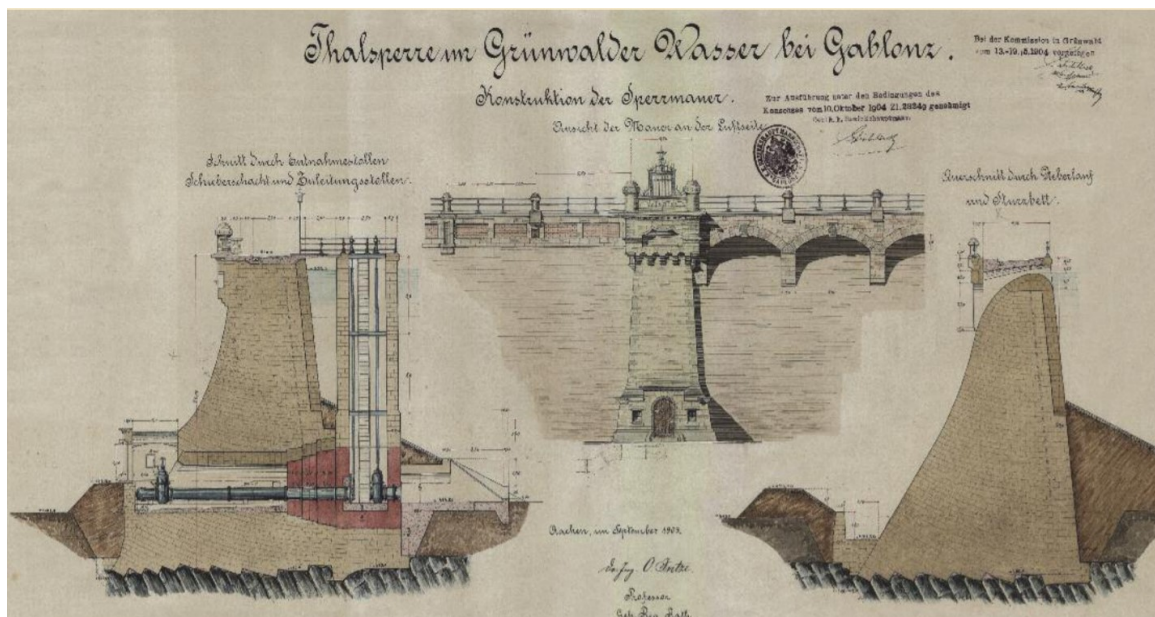
Obr. Č. 15.: geologická mapa okolí přehrady Mšeno.



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

- Granit,
- Nivní sediment,
- Slatina a rašelin,
- Přívodní štoly z Bílé Nisy a Lužické Nisy

Obr. Č. 16.: Ukázka historické dokumentace přehrady Mšeno.



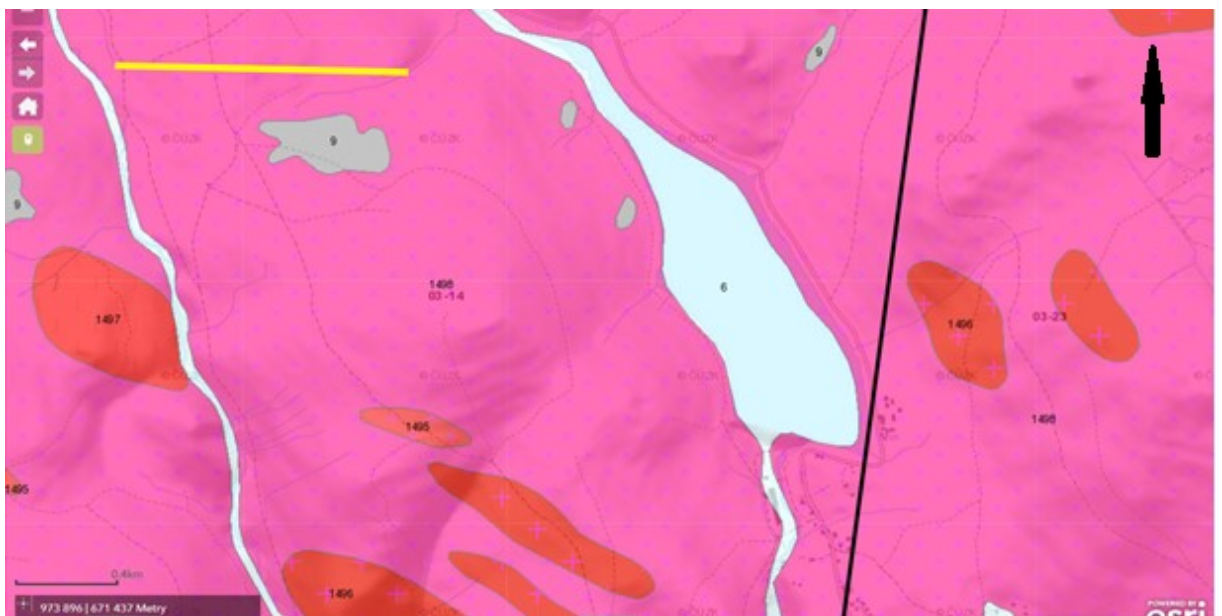
(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_mseno.pdf)

Obr. Č. 17.: Historická fotografie z výstavby Mšenské základové spáry.



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

Obr. Č. 18.: Geologická mapa okolí vodního díla Souš a Bílé Desné.



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

■ Granity až granitoidy, ■ Nivní sediment, ■ Slatina a rašelin, ■ Přívodní štola z Bílé Desné, ■ Zjištěná hranice mezi horninami

Obr. Č. 19.: Historická fotografie z rekonstrukčních prací na hrázi Souše v letech 1924-1927.



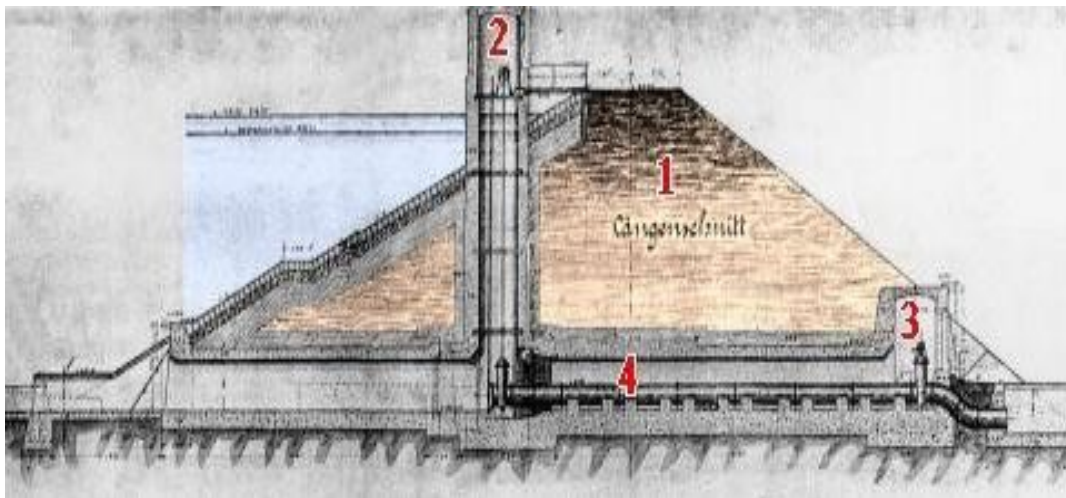
(http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/prehrada_sous.pdf)

Obr. Č. 20.: Fotografie současného stavu zbytků konstrukce vodního díla na Bílé Desné.



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

Obr. Č. 21.: Schéma průřezu hráze na Bílé Desné.



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

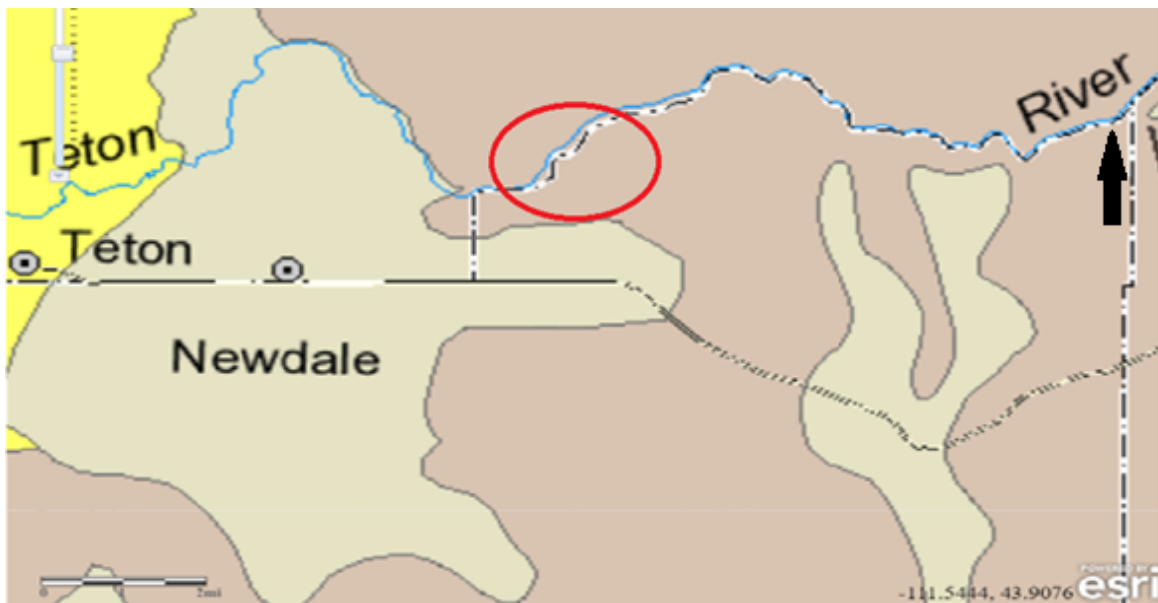
1: Těleso hráze, 2: Manipulační věž, 3: Výpustní komora, 4: Výpustní štola s odvodňovacím potrubím

Obr. Č. 22.: Historická fotografie zachycující přehradní hráz po protržení (1916).



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

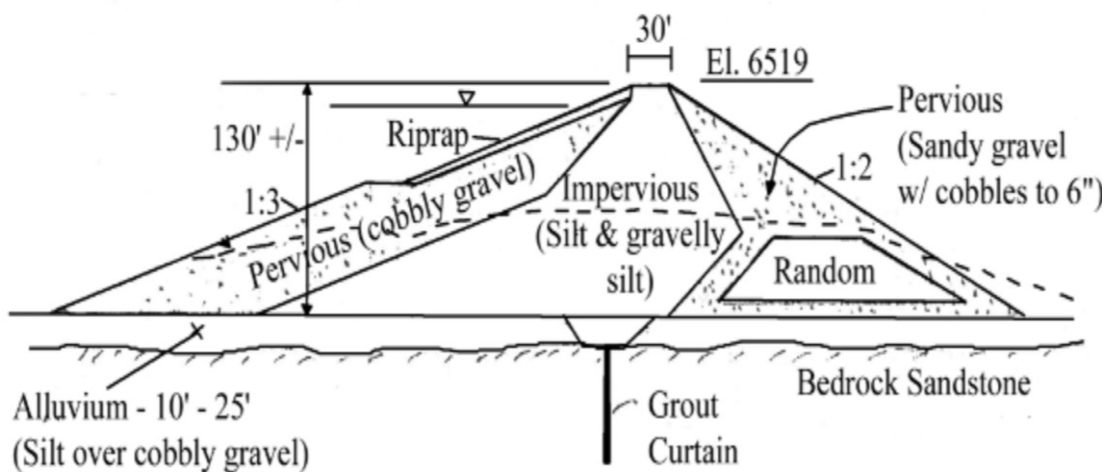
Obr. Č. 23.: Geologická mapa oblasti, kde byla vybudována přehrada Teton.



(<https://www.idahogeology.org/webmap>)

Rhyolity, Olivinické bazalty, Štěrk, písky, jíly

Obr. Č. 24.: Řez konstrukcí hráze přehrady Teton.



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