



Funkční vzorek

Těsnící vrstva vhodná pro zajištění filtrační stability hrází historických rybníků

Číslo dokumentace: 2020_CEG_FVZ03



Výstup projektu "Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví"

Kód projektu: DG16P02M036

Program: NAKI II (Ministerstvo kultury ČR)

Odpovědný řešitel: Ing. Václav David, Ph.D.

Zpracoval: Ing. Kateřina Černochová; Ing. Jiří Šťástka Ph.D.; Ing. Václav David, Ph.D

Funkční vzorek

Těsnící vrstva vhodná pro zajištění filtrační stability hrází historických rybníků

Účel funkčního vzorku

Těsnící vrstva z bentonitu byla navržena za účelem rozšíření možností dodatečného těsnění hrází bez nutnosti zásahu do tělesa hráze, nebo do její geometrie. Tato vrstva snižuje průsak zemními hrázemi malých vodních nádrží. V rámci vývoje byl kladen důraz také na přírodní charakter materiálu. Jedná se o těsnící vrstvu určenou zejména pro aplikaci na návodní líc hráze metodou stříkaného bentonitu. Tato technologie je založená na metodě stříkaného betonu. Za účelem využití této technologie pro aplikaci jílových směsí byla v rámci projektu DG16P02M036 "Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví" vyvinuta také tryska vhodná právě pro bentonitové směsi, které se používají pro nástřik těsnící vrstvy.

Bentonitovou těsnící vrstvu je možné použít jako dodatečné těsnění aplikované plošně na návodní líc, nebo za účelem utěsnění lokálních poruch hrází či injektáž tělesa hráze. Dodatečnou aplikaci těsnící vrstvy stříkanou metodou je možné provádět i v těžko dostupném terénu, jelikož nevyžaduje těžkou mechanizaci.

Popis těsnící vrstvy a její aplikace

Těsnící vrstva je složena z bentonitu a vody. Použitý bentonit je ve formě směsi o určité zrnitosti. Suchá bentonitová směs je stlačeným vzduchem hnána do trysky, kde je přidávána voda, tím je umožněna aplikace bentonitové vrstvy. Po styku jednotlivých zrn s vodou se povrch bentonitu navlhčí, navlhčená bentonitová zrna se nástřikem zhutní a po nanesení na povrch se materiál stává kompaktním. V rámci vývoje těsnící vrstvy bylo laboratorně a experimentálně testováno několik směsí o různém zrnitostním složení s cílem se co nejvíce přiblížit k ideální zrnitostní křivce podle Fullerova výpočtu¹.

Na bentonitovou směs a výslednou těsnící vrstvu je kladena řada požadavků. Tyto požadavky je možné rozdělit do tří kategorií. Jednou jsou požadavky kladené na materiál z pohledu plnění těsnící funkce výsledné vrstvy. Druhou kategorií jsou požadavky kladené na směs z pohledu použité technologie pro aplikaci, a to technologie stříkaného bentonitu. Třetí kategorií požadavků jsou nároky na stálost vrstvy ve smyslu možného ztenčení či ztráty vrstvy.

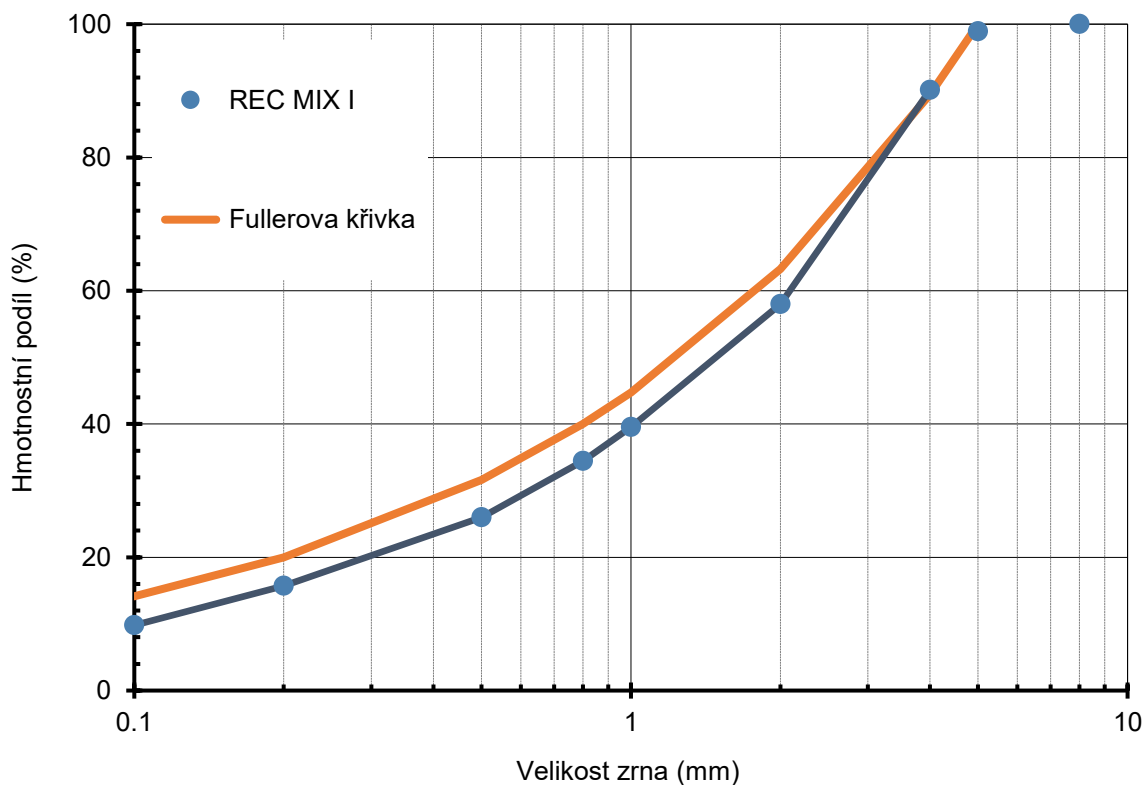
- **Těsnící schopnost vrstvy** – hlavní požadavky byly kladené na geotechnické parametry, zejména na propustnost a bobtnací tlak materiálu a dále na zrnitostní křivku. Sledované vlastnosti pro aplikaci směsi jsou propustnost (menší než $1e-11$ m.s⁻¹) a bobtnací tlak (vyšší než 1 MPa). Tyto vlastnosti se mění s objemovou hmotností sušiny bentonitu. Pokud je umožněno volné bobtnání bentonitu po aplikaci, tak se propustnost zvyšuje a

¹ Fullerův výpočet – Podle Fullerovi studie (výpočtu) lze odhadnout ideální skladbu zrn pro výplň mezizrného prostoru různě velkými zrny

bobtnací tlak snižuje. Na těsnící schopnost vrstvy má vliv také tloušťka nanesené vrstvy. Experimentálně bylo ověřeno, že tloušťka vrstvy 2 cm snižuje průsak hrází čtyřnásobně. Při injektážním způsobu použití směsi, např. do kaverny v hrázi, bentonit s přibývajícím vodou postupně zvětšuje svůj objem a tím dochází k dotěsnění kaverny. Dostatečné těsnící schopnosti bentonitu je dosaženo i při snížení objemové hmotnosti sušiny vlivem zvětšení objemu.

- **Vhodnost pro použití technologie** - důraz byl kladen na zrnitostní složení směsi a zvolenou frakci za účelem dosažení co nejkompaktnější vrstvy po nástřiku. Dalším požadavkem spojeným se zvolenou technologií aplikace bylo snížení prašnosti. Na základě tohoto požadavku byla optimalizována dávka vody, která je přidávána k bentonitové směsi. Výsledné množství vody 100 l.hod^{-1} bylo zvoleno s ohledem na zachování požadovaných geotechnických charakteristik vrstvy při současné snížení prašnosti při aplikaci.
- **Stálost vrstvy** – vlivem klimatických podmínek, hydrodynamického působení vody, nebo morfologickými charakteristikami hráze může docházet ke ztrátě materiálu a ztenčování vrstvy. Experimentálně bylo ověřeno, že tloušťka nanesené vrstvy alespoň 2 cm dlouhodobě plní těsnící funkci i při působení vnějších vlivů a částečné ztrátě materiálu. Ztráty materiálu je možné snížit ochranou vrstvy ve formě kokosové rohože natažené přes bentonitovou vrstvu. Na zhutnění a přilnutí těsnícího materiálu k podkladu a tím na stálost vrstvy má také vliv množství přidávané vody, výše uvedených 100 l.hod^{-1} bylo ověřeno jako optimální množství.

Nejlépe všem kritériím vyhověla směs s názvem REC MIX I, křivka zrnitosti této směsi je vyobrazena na Obr. 1, směs je vyobrazena na Obr. 2



Obr. 1 Zrnitostní křivka výsledné směsi pro bentonitovou těsnící vrstvu



Obr. 2 výsledná směs pro bentonitovou těsnící vrstvu

Vhodnost výsledné bentonitové směsi pro její využití metodou stříkaného bentonitu a funkčnost aplikované těsnící vrstvy byla nejdříve ověřena zkušebním nástřiky a pak byla ověřena na in situ experimentu. Experiment spočíval v nanesení vrstvy na fyzikální sekční model hráze v reálném měřítku a porovnání průsaků tímto modelem před nanesením bentonitové vrstvy a po aplikaci těsnění. Bentonitová vrstva nanesená na experimentální objekt je vyobrazena na Obr. 3



Obr. 3 Bentonitová těsnící vrstva nanesená na návodní líc experimentálního objektu

Celkové zhodnocení a závěr

Bentonitová těsnicí vrstva je vhodná pro dodatečné dotěšňování hrází historických rybníků, jelikož není nutné zasahovat do jejich tělesa, ani do geometrie a jedná se o neinvazivní metodu, která dosud nebyla pro malé vodní nádrže zkoušena. Další možné použití vyvinuté bentonitové směsi jako těsnicího materiálu hrází je pro účel injektáže. Těsnicí vrstva se skládá z bentonitu frakce 0 – 8 mm o zrnitostním rozložení přibližující se k zrnitostní křivce podle Fullerovy studie tzv. čáry ideální zrnitosti. Voda se k bentonitové směsi přidává těsně před aplikací v trysce nástřikového aparátu. Optimální množství vody vzhledem ke všem nárokům na vrstvu bylo stanoveno na 100 l/hod. Nasycená hydraulická vodivost materiálu nanesené vrstvy je $1e-11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a experimentálně bylo ověřeno, že vrstva o tloušťce alespoň 2 cm sníží průsak hrází čtyřikrát. Za účelem snížení ztrát materiálu působením vnějších vlivů je doporučeno vrstvu po nanesení chránit kokosovou rohoží. Rohož funguje jako stabilizační prvek vrstvy. Materiál těsnění pronikne mezi jednotlivá vlákna a tím dojde k vytvoření kompaktní vrstvy.

