



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

A STUDY OF A SMALL HYDROPOWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Bartůněk

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodních staveb
Student: **Tomáš Bartůněk**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie malé vodní elektrárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Malé vodní elektrárny jsou zařízení využívající obnovitelný zdroj vodní energie k výrobě elektrické energie. MVE představují v podmínkách ČR udržitelnou energetickou alternativu s nižším dopadem na životní prostředí ve srovnání s konvenčními zdroji energie.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Cílem práce je návrh malé vodní elektrárny (MVE) ve zvolené lokalitě, a to v jedné variantě stavební a technologické části. Výstupy práce budou zahrnovat tyto přílohy: průvodní a technická zpráva, situace a řezy MVE, hydraulické a hydroenergetické výpočty, fotodokumentace.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- Odborná literatura a normy z oboru využití vodní energie, hydrauliky a hydrologie.
- Hydrologické údaje a mapové podklady zájmové lokality.
- Firemní materiály dodavatelů stavební a technologické části.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 6. 11. 2023

L. S.

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh malé vodní elektrárny (MVE) na řece Jihlavě v říčním km 136,741. Účelem stavby je využití hydroenergetického potenciálu toku pro výrobu elektrické energie. Předmětem je také použití turbín PROTUR u jezové stavby. Studie obsahuje technickou zprávu, hydraulické a hydroenergetické výpočty, výkresovou dokumentaci a fotodokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Malá vodní elektrárna, turbína PROTUR, pohyblivý jez, řeka Jihlava, hydroenergetický potenciál

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is the design of a small hydroelectric power plant on the Jihlava River at river km 136.741. The purpose of the construction is to use the hydroelectric potential of the stream for power generation. The subject is also the use of PROTUR turbines at the weir construction. The study includes a technical report, hydraulic and hydropower calculations, drawings and photo documentation.

KEYWORDS

small hydropower plant, PROTUR turbine, movable weir, Jihlava river, hydroenergetic potential

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARTŮNĚK, Tomáš. *Studie malé vodní elektrárny*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Studie malé vodní elektrárny* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2024

Tomáš Bartůněk
autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Studie malé vodní elektrárny* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2024

Tomáš Bartůněk
autor

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Alešovi Drábovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a diskuse, které mi poskytl během řešení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

A STUDY OF A SMALL HYDROPOWER PLANT

TECHNICKÁ ZPRÁVA

PŘÍLOHA A

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Bartůněk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

BRNO 2024

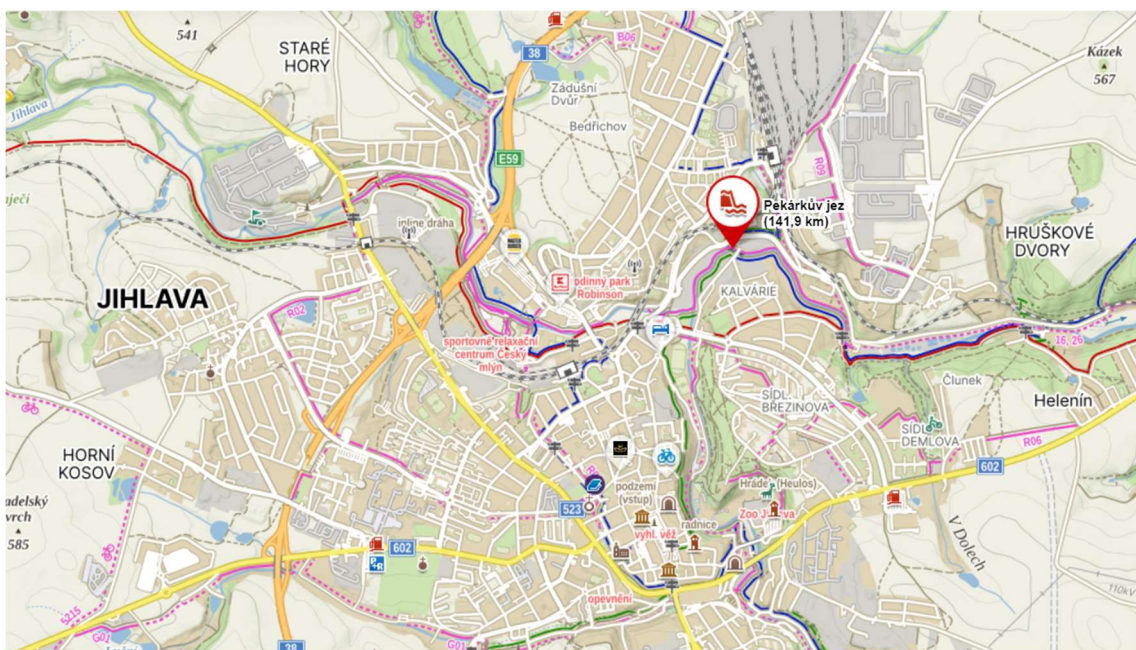
Obsah

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	11
2. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	12
2.1. SEZNAM PODKLADŮ	12
2.2. MÍSTNÍ ŠETŘENÍ	13
3. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ STAVBY	13
3.1. STÁVAJÍCÍ STAV	13
3.2. HYDROLOGICKÉ ÚDAJE	16
3.3. GEODETICKÉ PODKLADY	17
3.4. GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODKLADY	17
4. NAVRŽENÉ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MVE	18
4.1. ÚČEL A PŘEDMĚT STAVBY	18
5. STAVEBNÍ ČÁST MVE	18
5.1. PŘÍVODNÍ POTRUBÍ	18
5.2. ÚPRAVA PODJEZÍ	19
6. TECHNOLOGICKÁ ČÁST MVE	20
6.1. TURBÍNY PROTUR.....	20
6.2. ELEKTROČÁST	23
6.3. TECHNOLOGICKÉ ZAŘÍZENÍ VTOKU	23
7. ZÁVĚR	26
8. SEZNAM PŘÍLOH	27
9. SEZNAM TABULEK	27
10. SEZNAM OBRÁZKŮ	27

1. Úvod a cíle práce

Cílem této bakalářské práce je vypracování studie malé vodní elektrárny (dále MVE) v lokalitě vakového (Pekárkova) jezů na řece Jihlavě v ř. km 136,741 (viz Obr.1). Jez se nachází na území města Jihlava v kraji Vysočina, v katastrálním území Jihlava [1]. Účelem této studie je návrh využití hydroenergetického potenciálu toku k následné výrobě elektrické energie. Cílem bylo rovněž ověření možností použití turbín PROTUR.

Práce zahrnuje zpracování technické zprávy, hydraulických výpočtů, výkresové dokumentace a fotodokumentace.



Obr. 1 Situace s umístěním MVE [16]

2. Přehled výchozích podkladů

2.1. Seznam podkladů

- [1] *MANIPULAČNÍ ŘÁD pro vakový (Pekárkáv) jez na řece Jihlavě v km 136,741.* Vodohospodářský dispečink Povodí Moravy s.p., Brno, 2021.
- [2] *Příloha manipulačního řádu vakového (Pekárkova) jezu - Jihlava 136,741: Půdorys: Ovládání vakového jezu.* 2021.
- [3] *Příloha manipulačního řádu vakového (Pekárkova) jezu - Jihlava 136,741: Řez: Ovládání vakového jezu [PDF].* 2021.
- [4] BARTŮNĚK, Tomáš. *Místní šetření, dne 22.4.2024: Fotodokumentace.* Jihlava, 2024.
- [5] BBG-BENDA, S.R.O. *ŘEZÁNÍ DIAMANTOVÝM LANEM NEBO-LI LANOVOU PILOU* [online]. 2020 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.vrtani-rezani-betonu.cz/rezani-lanovou-pilou-diamantovym-lanem/>
- [6] PIPELIFE CZECH S.R.O. *KANALIZAČNÍ SYSTÉM PVC KG SN 4, SN 8, SN 12:* *pipelife.cz* [PDF]. 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/content/dam/pipelife/czech-republic/ke-stazen%C3%AD/katalogy/kanalizacni_systemy/Kanalizacni_system_PVC_KG_1_2_024.pdf
- [7] PIPELIFE CZECH S.R.O. *KANALIZAČNÍ SYSTÉM PRAGMA+ID SN 10, SN 12, SN 16* [PDF]. 2024 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/content/dam/pipelife/czech-republic/ke-stazen%C3%AD/katalogy/kanalizacni_systemy/Pragma+ID_1_2024.pdf
- [8] PIPELIFE CZECH S.R.O. *KANALIZAČNÍ SYSTÉM TECHNICKÝ MANUÁL* [PDF]. 2024 [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: https://www.pipelife.cz/content/dam/pipelife/czech-republic/ke-stazen%C3%AD/katalogy/kanalizacni_systemy/Technick%C3%BD_manu%C3%A1l_1_2024.pdf
- [9] *ČSN 75 6101: Stokové sítě a kanalizační přípojky.* 2024.
- [10] *Dokument se základními informacemi o turbínách od společnosti PROTUR* [PDF]. 2024.
- [11] *Technické detaily - PROTUR* [online]. 2020 [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.protur-turbine.com/technicke-detaily/>
- [12] ARMAST, S.R.O. *Hradítka vřetenové - Typ HADE* [PDF]. 2010 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.armast.cz/pdf/soupatka/14.hraditko-vretenove-typ-HADE.pdf>
- [13] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [14] JANDORA, Jan, Vlastimil STARA a Miloš STARÝ. *Hydraulika a hydrologie.* Vyd. 2., V Akademickém nakladatelství CERM 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-739-0.
- [15] HOLATA, Miroslav. *Malé vodní elektrárny.* Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.

- [16] *Mapy.cz* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: [https://mapy.cz/turisticka?q=Pek%C3%A1rk%C5%AFv%20jez%20\(141%2C9%C2%A0km\)&source=base&id=1900582&ds=1&x=15.5871960&y=49.4055904&z=14](https://mapy.cz/turisticka?q=Pek%C3%A1rk%C5%AFv%20jez%20(141%2C9%C2%A0km)&source=base&id=1900582&ds=1&x=15.5871960&y=49.4055904&z=14)
- [17] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. *Hlásná a předpovědní povodňová služba: Detail stanice Dvorce* [online]. [cit. 2024-05-18].

2.2. Místní šetření

Dne 22. 4. 2024 bylo provedeno místní šetření u Pekárkova jezu v Jihlavě. Měření se konalo za účasti zástupců Povodí Moravy, s.p. a firmy PROTUR, kde proběhla diskuse o možném stavebním řešení a umístění turbín. Byla provedena prohlídka objektu ovládní vakového jezu. Dále bylo provedeno měření pomocí metody GNSS (RTK), dále proběhlo zaměření výšky hladiny v podjezí. Také byla pořízena fotodokumentace stávajícího stavu objektu.

Zaměřené body jsou zakresleny v příloze C.3 - Situace zaměřených bodů.

3. Charakteristika území stavby

3.1. Stávající stav

Na místě starého dřevokamenného jezu střečovitého tvaru, zvaného „Pekárkův jez“, postaveného v roce 1937, byl vybudován nový vakový jez. Původní jez sloužil k odběru vody pro vodní turbíny v Pekárkově mlýně. Vysoko umístěná pevná přelivná hrana na kótě 468,73 m n. m. způsobovala vybřezování vody při převádění povodňových průtoků. V důsledku toho se řeka Jihlava upravovala a Pekárkův jez se rekonstruoval, aby se tato nepříznivá situace zlepšila. [1]

Na místě původního pevného jezu se aktuálně nachází pohyblivý jez s vakovou hradicí konstrukcí. Původní dřevokamenný jez byl v odkryté části opatřen betonovou deskou o průměrné tloušťce 1,0 m. Šířka betonové desky je 3,6 m. Zbývající přelivná část jezu byla upravena ve sklonu 1:3,9, tak jako původní jez. Tato úprava byla provedena pomocí těžkého kamenného záhozu z lomového kamene o minimální tloušťce 1,0 m. Zához byl upraven do formy balvanitého skluzu s vyklínováním mezer a kamenným filtrem tl. 0,20 m proti vyplavování podloží. [1]

Pod jezem není vybudován vývar. Dno pod jezem je v délce 7,5 m zpevněno kamenným záhozem, stejně jako přelivná část jezu. [1]

Bylo také provedeno zpevnění břehů pod jezem, proběhla pokládka dlažby z lomového kamene tloušťky 30 cm, ta je uložena do betonu tl. 15 cm se šterkopískovým podsypem tl. 15 cm. Dlažba je opřena o těžký kamenný zához tl. 1,0 m a šířky 3,0 m. Pravý břeh nad jezem je v délce 10 m opevněn stejně jako pod jezem, dlažba je opřena o patku z lomového kamene váhy 80 kg tl. 0,6 m a šířky 1,40 m. Levý břeh byl ponechán v původním stavu. Opěrné zídky u jezu byly zhotoveny z betonu. [1]

Tab. 1 Charakteristické rozměry a kóty vakového jezu [1]

Charakteristické rozměry a výškové kóty	
Délka vzduť při hladině stále	cca 1200 m
Objem jezové zdrže při hladině stálého nadržení	cca 25 000 m ³
Kóta pevného prahu	467,93 m n.m.
Hladina stálého nadržení při plně vztyčeném vaku	468,93 m n.m.
Kóta dna nad jezem	467,73 m n.m.
Kóta dna pod jezem	465,91 m n.m.
Kóta hladiny $Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$ nad jezem	469,78 m n.m.
Kóta hladiny $Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$ pod jezem	469,74 m n.m.
Kóta levý břeh	470,18 m n.m.
Kóta pravý břeh	469,80 m n.m.
Počet polí	1
Šírka vaku (světlost jezu)	26,0 m
Výška vaku při plném vztyčení	1,2 m
Kóta vaku při plném vztyčení	468,93 m n.m.

Materiálem hradící vakové konstrukce je trojvrstvá pryžotextilní tkanina tloušťky 4,5 mm (Rubena Náchod). Vak je uložen a přichycen na vodorovné úložné desce a je plněn vodou. Ovládací systém celého vaku se skládá ze 4 šachet umístěných na straně levobřežního pilíře. [1]

Čerpací šachta je při normálním provozu spojena s řekou v nadjezí plnicím ocelovým potrubím průměru 400 mm, vtok je opatřen ocelovými česlemi. Pro případ potřeby uzavření vtoku lze však česle nahradit ručním ocelovým stavítkem. Pokud poklesne hladina v nadjezí pod kótu 467,93 m n.m. (standardní kóta vtoku), přepne se plnění na primární. To znamená, že se čerpací šachta propojí s ocelovým potrubím průměru 150 mm, které ústí vtokovým otvorem o rozměrech 20/50/40 cm v přední části betonové úložné desky. Tento vtok je za normálního provozu jezu uzavřen ocelovým poklopem. Aby se minimalizovalo zanášení šachty splaveninami, propojuje se šachta s odpadovou šachtou proplachovacím ocelovým potrubím průměru 200 mm, které je v čerpací šachtě opatřeno kalovým šoupátkem Js 200 pro možnost uzavření. [1] [2][3]

Z čerpací šachty je říční voda přečerpávána ponorným čerpadlem do přetlakové šachty. Ta je s vakem spojena ocelovým potrubím o průměru 200 mm a jedním plnicím otvorem, který se nachází 1,0 m od levobřežního pilíře.

V přetlakové šachtě se udržuje potřebná hladina, která ovlivňuje výšku koruny vaku (H_1 st.). Různé nastavení hladin v šachtě umožňuje systém dřevěných hradítek umístěných na pevné přelivné hraně dělicí stěny mezi šachtou přetlakovou a odpadovou.

Maximální výška vaku H_1 st. = 1,2 m, tj. kóta hydrostatické hladiny = 468,93 m n.m. Tato hodnota se dosáhne nastavením hradítek na maximální přetlakovou hladinu, tj. na kótu 469,41 m n.m.

Maximální snížení koruny vaku bez použití výpustného potrubí se docílí vyhrazením všech hradítek na kótu pevného prahu dělicí stěny 468,80 m n.m. [1]

K úplnému vypuštění vaku "umělým" způsobem slouží ocelové výpustné potrubí o průměru 200 mm, které je integrováno do dělicí stěny mezi přetlakovou a odpadovou šachtou. Výpustné potrubí je vybaveno kalovým šoupátkem Js 200, které se nachází v odpadové šachtě. Během běžného provozu jezu je šoupátko trvale zavřeno.

Odpadní šachta je propojena s podjezím obdélníkovým otvorem o rozměrech 90 x 20 cm, sloužícím k odvádění odpadní vody. [1]

Prázdňení a plnění vaku probíhá automaticky v závislosti na narůstání a opadávání povodní. Během vzestupu průtoku se konstrukce vaku sklápí až do úplného vyrovnání s dnem řeky. Naopak při klesajícím průtoku se vaková konstrukce zvedá zpět do výchozí polohy odpovídající obvyklé hladině. [1]

Při provádění oprav vaku, demontáže nebo montáže jezu za plného provozu se používá provizorní hrazení. To se skládá z 12 kusů I profilů (tzv. slupic) a dřevěných hradidel o rozměrech 200/20/5 cm.

Otvory pro osazení I profilů jsou umístěny před jezovým tělesem a mají osovou vzdálenost 2,0 metru. Demontáž a montáž provizorního hrazení se provádí při vypuštěném vaku a za snížených průtoků, které jsou převáděny betonovou rourou na pravém břehu. [1]



Obr. 2 Stávající stav vakového (Pekárkova) jezu [4]

3.2. Hydrologické údaje

Hydrologické údaje platí pro úsek Jihlavy pod Jihlávkou v km 142,400. Údaje pochází z ČHMÚ z roku 2004. [1]

- Číslo hydrologického pořadí: 4-16-01-049
- Název profilu: Jihlava pod Jihlávkou
- Plocha povodí: 512,65 km²
- Průměrné roční srážky: 658 mm
- Průměrný roční průtok: 3,16 m³/s

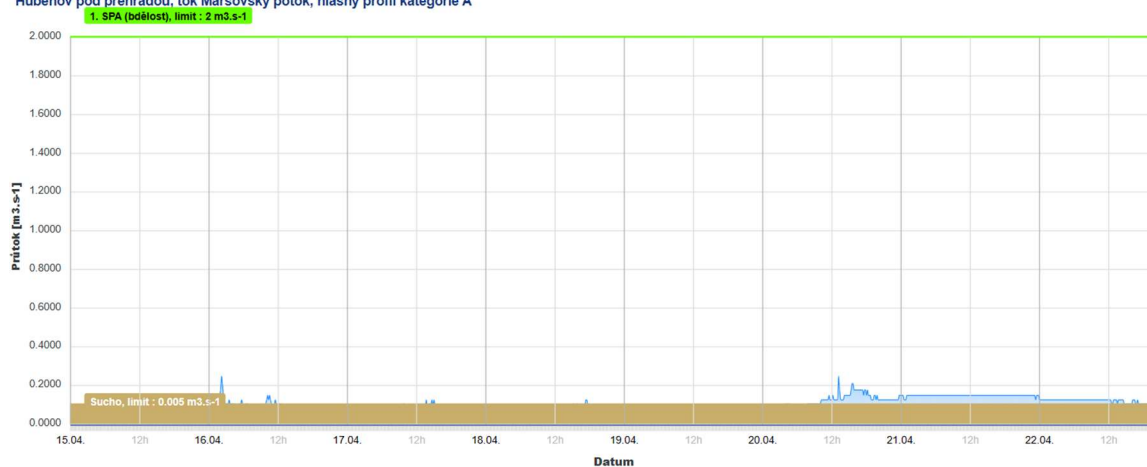
Tab. 2 Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Jihlava pod Jihlávkou [1]

Průtoky Q_m (m – denní)							
m	30	90	180	270	330	355	364
Q_M	6,97	3,43	2,12	1,37	0,85	0,52	0,21

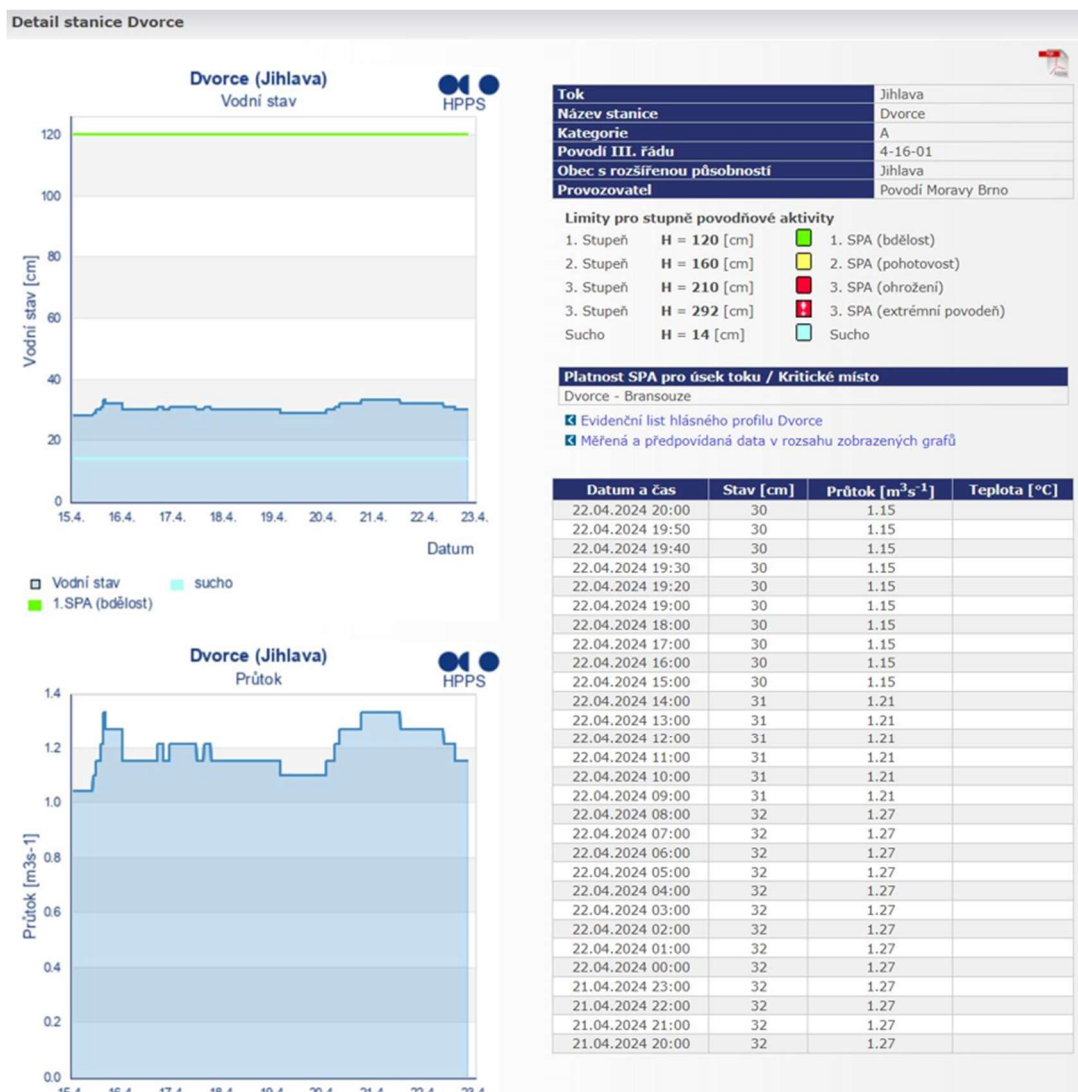
Tab. 3 Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Jihlava pod Jihlávkou [1]

Průtoky Q_N (N – leté)							
m	1	2	5	10	20	50	100
Q_M	29,0	41,0	58,0	72,0	86,0	107,0	125,0

Hubenov pod přehradou, tok Maršovský potok, hlásný profil kategorie A



Obr. 3 - Graf průtoků – Maršovský potok ze dne 22. 4. 2024 [17]



Obr. 4 – Průtoky ve stanici Dvorce ze dne 22. 4. 2024 [17]

V době místního šetření [4] byl průtok přes Pekárkův jez odhadnut součtem průtoku stanice Dvorce a Maršovského potoka (viz Obr 3 a 4). Výsledná hodnota činí cca $1,3 m^3/s$, což odpovídá asi průtoku Q_{270d} . V rámci šetření [4] byla změřena hladina v podjezí u levého pilíře na kótě cca 467,5 m n. m.

3.3. Geodetické podklady

V rámci vlastního měření v dané lokalitě bylo orientační geodetické měření v blízkosti zájmové lokality. Tímto byly zároveň ověřeny výškové kóty ve stávající výkresové dokumentaci. Měření bylo provedeno metodou GNSS (RTK). Zaměřené body jsou doložené v příloze C.3 - Situace zaměřených bodů.

3.4. Geologické a hydrogeologické podklady

V rámci zpracování nebyl proveden inženýrskogeologický průzkum.

4. Navržené technické řešení MVE

4.1. Účel a předmět stavby

Účelem stavby je návrh stavebního a technologického řešení MVE k využití hydroenergetického potenciálu stávajícího vakového jezua na řece Jihlavě v km 136,741 pro výrobu elektrické energie. Zdroj vody k výrobě ekologicky čisté energie bude odebírán z nadjezí, z prostoru čerpací šachty vakového jezua. Z nadjezí je povolen odběr pro AJAX PILNÍKY, a.s. s hodnotou 65 000 m³/rok.

Předmětem stavby je vybudování přívodního potrubí z čerpací šachty vakového jezua. Soustava turbín PROTUR se bude nacházet na upravené betonové desce. Účelem práce je ověřit, zda by mohly být turbíny PROTUR použity u jezových staveb, a zda je možné je umístit do vodního toku.

5. Stavební část MVE

Stavební část navrhované MVE zahrnuje: - Přívodní potrubí
- Úpravu podjezí

5.1. Přívodní potrubí

Navržené přívodní potrubí slouží k převedení vody z čerpací šachty (viz Foto 6) do podjezí jezové stavby (viz Foto 3), kde budou umístěna soustava turbín PROTUR.

Voda z nadjezí je přivedena do čerpací šachty o rozměrech 0,9×0,6 m, hloubky 2,5 m. Voda do čerpací šachty natéká přívodním ocelovým potrubím o průměru 400 mm, délky 1,2 m. Osa plnicího potrubí je na kótě 468,13 m n. m., potrubí je zhruba v polovině zalomeno ostrým kolenem. Na vtoku do potrubí jsou osazeny česle, aby bylo zabráněno zanášení čerpací šachty. Kóta podlahy objektu ovládání vakového jezua je 469,80 m n. m. [1]

Výpočet místních ztrát, poklesu hladiny v čerpací šachtě viz. Příloha B – Hydraulické výpočty.

Do stěny čerpací šachty a opěrné zdi bude zhotoven otvor pro vsunutí chráničky (potrubí PRAGMA+ID SN 10 DN 500). Otvor bude zhotoven pomocí diamantové lanové pily.

Diamantové lanové pily fungují na principu ocelového lana osazeného kroužky s řeznými diamanty uchycenými v kovovém pojivu. Lano je vedeno smyčkou kolem řezaného objektu a pomocí hydraulicky nebo elektricky poháněného kola protahováno betonem vysokou rychlostí. Využití vratných kladek umožňuje řez i v obtížně přístupných místech. [5]

Osa přívodního potrubí v čerpací šachtě je na kótě 468,57 m n. m. Potrubí bude uloženo do paženého výkopu šířky 0,8 m, hloubky 1,65 m. Stavební rýha bude v průběhu

pokládky odvodněna pomocí čerpací jímky, z důvodu možného výskytu vysoké hladiny podzemní vody. Celková délka potrubí bude cca 6 m.

Bude použito koleno PVC SN 8 DN 400 87°30' a dvě kolena PVC SN 8 DN 400 45°. Potrubí je dodáváno v délkách 1, 2, 5 m. Potrubí bude na stavbě zkráceno a připraveno k pokládce. [6]

Potrubí bude vsunuto do potrubí PRAGMA+ID SN 10 DN 500, toto potrubí má pouze ochrannou funkci. Bude umístěno pouze v prostupech skrz konstrukce. Po osazení potrubí bude mezera mezi potrubími vyplněna PU pěnou a trvale pružným tmelem. [7]

Trasa potrubí bude vedena od čerpací šachty, do podjezí skrze opěrnou zeď.

Plastová potrubí s hladkými stěnami, které minimalizují usazování nečistot a inkrustace, a to i v náročných lokalitách. Díky chemické odolnosti jsou vhodná pro širokou škálu médií. Jejich trvale dobré hydraulické vlastnosti s nízkými tlakovými ztrátami zajišťují minimalizaci spotřeby energie. Pro zabránění sedimentaci tuhých částic je doporučena minimální rychlost průtoku 0,6 m/s. Optimální rovnováhu mezi průtočností a opotřebením pak nabízí maximální doporučená rychlost 5 m/s. V odůvodněných případech je možné využít i vyšší rychlosti, je však nutné počítat s důkladným návrhem a zohlednit zvýšené síly a opotřebení. Dovolená maximální rychlost v běžných plastových trubkách je 10 m/s.

Plastová potrubí tak představují spolehlivé a bezproblémové řešení pro rozvody kapalin a plynů i v náročných podmínkách. [8; 9]

Plastové potrubí se chová pružně, ohýbá se pod tlakem a vrací se do původního tvaru po odeznění zatížení. Plastové potrubí v zemi spolupracuje s okolní zeminou, která je chrání a ovlivňuje jejich chování.

V našem případě je uvažováno obetonování potrubí vodostavebním betonem v šířce alespoň 15 cm po obvodu potrubí. Poté proběhne zpětný hutněný zásyp původní zeminou. Toto je provedeno z důvodu umístění potrubí blízko jezové stavby, a tak možného proudění podzemní vody, a následného vymílání materiálu.

5.2. Úprava podjezí

Podjezí pod levým pilířem bude z důvodu osazení soustavy turbín upraveno, dobetonováno do roviny. V místě umístění turbín bude provedeno dobetonování části betonové desky. Pro tuto část bude potřeba cca 0,3 m³ vodostavebního betonu. Podjezí bude betonováno v období minimálních průtoků. V průběhu betonáže a úpravy podjezí se uvažuje zajímkování oblasti podjezí, pomocí big bagů s pískem. Ocelové profily konstrukce lávky budou zakotveny do upravené betonové desky, chemickou kotvou. Uvažováno je použití ocelových pororoštů s velikostí oka 33×33 cm. Lávka bude ohraničena ocelovým zábradlím výšky 1,1 m. Na lávku bude umožněn přístup pomocí ocelového žebříku, který bude ukotven na stěně objektu ovládání jezu. Lávka je umístěna do výšky 1,9 m, tak aby byl umožněn přístup k turbínám. Pochůzná část lávky se nachází na kótě 469,10 m n. m.

Na sloupky konstrukce lávky bude umístěno hrazení z dřevěných fošen, proti nárazům plovoucích předmětů, které by mohly poškodit soustavu turbín.

6. Technologická část MVE

6.1. Turbíny PROTUR

Systém PROTUR Turbine (Precession Rolling Turbine) představuje bezlopatkovou turbínu. Turbíny PROTUR zajišťují nepřetržitý zdroj elektrické energie s minimálními nároky na údržbu, čímž se stávají vhodným řešením pro trvale udržitelnou výrobu energie. [10]

Původní myšlenku turbíny PROTUR (Precession Rolling TURbine) s rotačním bezlopatkovým mechanismem vymyslel koncem 20. století Miroslav Sedláček. Později tuto technologii dále rozvíjely a technicky zdokonalovaly firmy RF Economy consulting a ŽĐAS, a.s. [10]

PROTUR nabízí inovativní řešení pro výrobu čisté energie z malých vodních toků. Turbíny jsou navrženy tak, aby pracovaly efektivně i s nízkými spády a malými průtoky, čímž otevírají možnosti pro využití energie z vodních zdrojů, které by dříve nebyly ekonomicky rentabilní. Rotace turbíny pomáhá okysličovat vodu, což prospívá vodnímu prostředí. Nepotřebují žádná maziva ani jiné produkty a neuvolňují mikroplasty do vody. Turbíny jsou vhodné pro širokou škálu aplikací, od napájení domácností a malých podniků až po závlahu a rekreační zařízení. [11]

PROTUR 300 (viz Obr. 5) je kompaktní vodní turbína, která efektivně využívá nízké



Obr. 5 – Turbíny PROTUR 300 [10]

spády a průtoky pro výrobu energie. Díky funkčnímu spádu od 0,7 m a minimálnímu požadovanému průtoku vody 35-40 l/s je ideální i pro lokality s nízkým energetickým

potenciálem. Turbína dosahuje výkonu 0,3 kW a denní produkce 7 kWh, čímž se stává vhodnou pro malé vodní elektrárny a decentralizované systémy výroby energie.

PROTUR 300 je dostupný v základním provedení i s jedním nebo dvěma kryty pro spády až do 2,2 m, čímž se přizpůsobuje různým podmínkám a požadavkům. Modulární konstrukce umožňuje instalaci turbín v sestavách v jedné horizontální rovině s využitím společných přepadů, čímž se zvyšuje flexibilita a efektivita.

Celý stroj váží 230 kg a pro účely instalace jej lze rozložit na 4 základní díly, čímž se snadno transportuje i do odlehlých oblastí.

Povrchová úprava žárovým zinkováním zaručuje odolnost proti korozi a dlouhou životnost turbíny. Díky jednoduché konstrukci a odolným materiálům vyžaduje PROTUR 300 minimální servis a údržbu, čímž se snižují provozní náklady. [10]

Tab. 4 – Základní parametry turbín PROTUR [11]

Turbína	Minimální průtok [l/s]	P [W]
PROTUR 300	35-40	250
PROTUR 600	80-100	600

Výkon turbíny ovlivňuje množství protékající vody, tak i typ turbíny. Protur 300 s průměrným průtokem 35-40 l/s dosahuje výkonu 250 W, zatímco Protur 600 s průtokem 80-100 l/s zvládne až 600 W.



Obr. 6 - Turbína PROTUR 600 [10]

PROTUR 600 (viz Obr. 6), kompaktní a efektivní řešení pro výrobu energie z vodních toků s nízkým průtokem, se vyznačuje všestranností, snadností instalace a odolností. Díky funkčnosti již od 1 metru výšky hladiny a minimálnímu požadovanému průtoku vody 80–100 l/s je PROTUR 600 ideální pro širokou škálu lokalit. S výkonem 0,6 kW a denní produkcí 14 kWh se stává spolehlivým zdrojem energie pro malé provozy a odlehlé oblasti. [10]

Ukázky již realizovaných instalací turbín PROTUR jsou uvedeny na Obr. 7 a Obr. 8.



Obr. 7 – Ukázka možného provedení turbíny PROTUR [11]



Obr. 8 – Montáž turbín v horizontálním provedení [10]

V našem případě je uvažováno použití turbíny PROTUR 600 a PROTUR 300. Turbíny budou uspořádány do horizontální soustavy s přívodem vody pomocí ocelového žlabu. Turbíny budou ukotveny do železobetonové desky v podjezí. Přístup k nátokovému žlabu v případě revize nebo závady bude umožněn z obslužné lávky nad turbínami.

V období zvýšených průtoků bude soustava turbín zatopena, a tedy mimo provoz.

6.2. *Elektročást*

Od soustavy turbín bude veden silový kabel v korugované chrániče DN 40. Ten bude veden pod konstrukcí lávky, po stěně objektu ovládání jezu, zde bude následně prostupovat dovnitř do rozvaděče. Rozvaděč bude umístěn v rohu místnosti objektu ovládání jezu, u stěny směrem do podjezí. Z objektu ovládání jezu bude následně vyveden výkon podzemním kabelem a následným napojením na nadzemní vedení, případně vedení v podvodní chrániče. Toto záleží na tom, jak bude rozhodnuto s naložením s elektrickou energií.

Turbína, vybavená generátorem pro výrobu elektřiny, je navržena pro nezávislý provoz. Dodává se s vlastním rozváděčem, který zahrnuje regulátory, měnič napětí a bateriové úložiště. Toto úložiště umožňuje ukládat přebytečnou energii a následně ji transformovat na napětí 230 V AC, čímž zajišťuje napájení domácích i průmyslových spotřebičů. [10]

Pro zajištění automatizace provozu MVE se předpokládá instalace snímačů hladiny, které budou snímat výšku hladiny v jezové zdrži, v čerpací šachtě, a také v podjezí, v blízkosti turbín.

6.3. *Technologické zařízení vtoku*

V čerpací šachtě, na vtoku přívodního potrubí, pro turbíny PROTUR bude umístěno vřetenové hradítko (uvažované umístění viz Foto 6). To zde bude z důvodu regulace průtoků, či kompletního uzavření. Hradítko zvoleno od výrobce Armast s.r.o., velikost volena pro potrubí DN 400. Součástí bude také elektrický servomotor, pro ovládání hradítka. Hradítko se bude v závislosti na vodu přitékající do čerpací šachty přivírat/otvírat.

Tato armatura slouží k uzavírání a regulaci průtoku vody v potrubí. Může se používat pro povrchovou, užitkovou i odpadní vodu, ať už v čistírnách odpadních vod nebo vodovodech, nebo v jiných aplikacích.

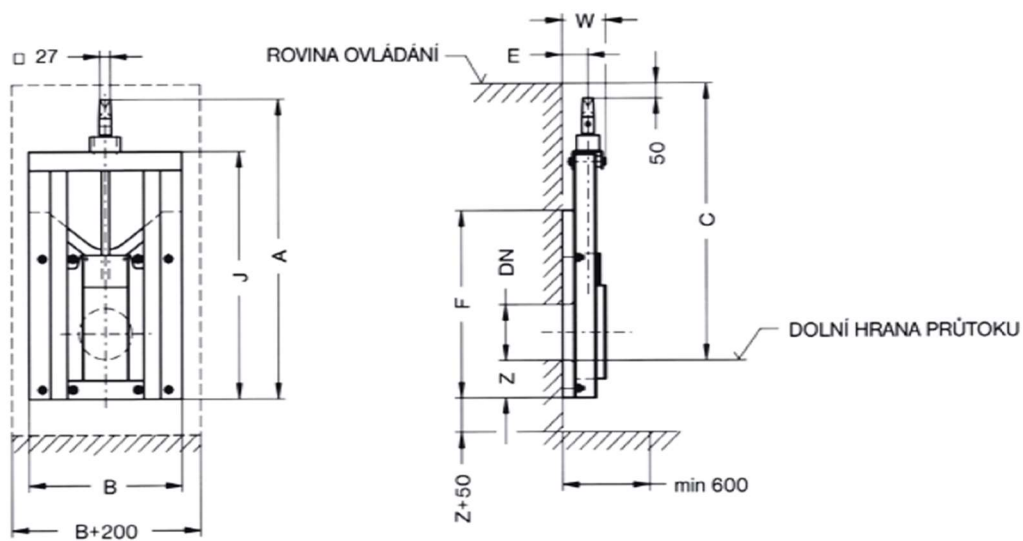
Armatura se ovládá pomocí šoupátkového klíče. Otáčením ovládacího konce doprava se armatura zavírá, otáčením doleva se otevírá. Je možno použít mechanizované ovládání, které může být zajištěno elektromotorem.

Povolená pracovní teplota: od -50 °C do +70 °C. Povolený pracovní přetlak: do 0,05 MPa (do 5 m vodního sloupce).

Armatura je vyrobena z odolných materiálů, jako je nerezová ocel CrNi 18 10 pro rám, vřeteno a nástavec ovládání, cínový bronz CuSn 12 pro vřetenovou matici, vysokohustotní polyethylen PE-HD pro zadní díl a desku, pryž EPDM pro těsnění desky a pryž Neopren pro samolepicí těsnění na stěnu. Díky moření a pasivaci dílů z ušlechtilých ocelí je zajištěna maximální odolnost proti korozi a prodlužuje se jejich životnost. [12]



Obr. 10 – Vřetenové hradítko [12]



Obr. 9 – Schéma hradítka s rozměry v mm [12]

Tab. 5 – Základní rozměry hradítka v mm [12]

DN	400
A	1200
B	600
C	1150
E	68
F	700
J	1060
W	124
Z	100
počet ot. / zdvih	112
ovl. m. (N.m)	11
hmotnost (kg)	30

Stávající česle na nátokovém objektu budou vyměněny za výklopné česle (viz Foto 4). Tyto česle budou vybaveny panty, které slouží pro vyklopení česlí směrem do toku. V případě zanesení budou tedy česle propláchnuty proudící vodou.

Zároveň je potřeba provést kontrolu stavu česlí na vtokovém potrubí, případně provést jejich výměnu.

7. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout malou vodní elektrárnu (MVE) na řece Jihlavě v říčním kilometru 136,741. Studie se zaměřila na lokalitu Pekárkova jezu, kde existuje nevyužitý hydroenergetický potenciál. Návrh MVE musí splňovat požadavky na technickou proveditelnost a dostatečnou efektivnost. Cílem bylo také ověřit, zda by mohla být turbína PROTUR být použita u jezových objektů a je technicky realizovatelná.

Mezi hlavní výhody turbín PROTUR patří schopnost pracovat s nízkými spády a malými průtoky, minimální servis a údržba, dále také kompaktnost turbíny.

Nevýhodou tohoto návrhu je neúplné využití hydroenergetického potenciálu a nefunkčnost turbín při jejich zaplavení, v období velkých průtoků.

Bez rozsáhlých měření a sledování v daném místě není možné s jistotou určit, při jakém průtoku dojde k zatopení turbín. Na základě dostupných informací se předpokládá, že turbíny budou v provozu přibližně 300 dní v roce.

Při tomto návrhu bude také potřeba vyřešit náležitosti týkající se majetkoprávních vztahů. Jak nám bylo sděleno zástupci Povodí Moravy, tak pozemky vedle objektu ovládní jezu nejsou ve vlastnictví Povodí Moravy, s.p., nýbrž ve vlastnictví společnosti AJAX PILNÍKY s.r.o. V rámci tohoto řešení budou muset dotčené subjekty tedy najít společné východisko.

V rámci studie jsme uvažovali i o řešení s větším počtem turbín, konkrétně se dvěma turbínami PROTUR 600 a třemi turbínami PROTUR 300. Toto řešení by si ale vyžádalo velké množství stavebních úprav. Například zvětšení přívodního potrubí do čerpací šachty a rozsáhlejší úpravy podjezí. Z důvodu vyšší složitosti provedení jsem nakonec od tohoto řešení upustili.

Celkový průměrný výkon se pohybuje okolo 0,85 kW při průtoku cca 0,14 m³/s. Průtok vody by mohl zajistit denní produkci cca 20,4 kWh, ročně pak cca 6,12 MWh.

Předmětem práce nebylo zpracování výkazu finančních nákladů na stavební a technologické části.

8. Seznam příloh

A.	Technická zpráva,	
B.	Hydraulické a hydroenergetické výpočty,	
C.	Situační výkresy,	
C.1	Situace širších vztahů	M 1:20 000,
C.2	Celková situace stavby	M 1:100,
C.3	Situace zaměřených bodů	M 1:200,
D.	Výkresová dokumentace	
D.1	Podélný řez B MVE	M 1:25,
D.2	Půdorysný řez A1 MVE	M 1:25,
D.2	Půdorysný řez A2 MVE	M 1:25,
E.	Fotodokumentace.	

9. Seznam tabulek

Tab. 1	Charakteristické rozměry a kóty vakového jezu [1].....	14
Tab. 2	Hodnoty m-denních průtoků v profilu jezu Jihlava pod Jihlávku [1]	16
Tab. 3	Hodnoty N-letých průtoků v profilu jezu Jihlava pod Jihlávku [1]	16
Tab. 4	– Základní parametry turbín PROTUR [11]	21
Tab. 5	– Základní rozměry hradítka v mm [12]	25

10. Seznam obrázků

Obr. 1	Situace s umístěním MVE [16]	11
Obr. 2	Stávající stav vakového (Pekárkova) jezu [4]	15
Obr. 3	- Graf průtoků – Maršovský potok ze dne 22. 4. 2024 [17]	16
Obr. 4	– Průtoky ve stanici Dvorce ze dne 22. 4. 2024 [17].....	17
Obr. 5	– Turbíny PROTUR 300 [10].....	20
Obr. 6	- Turbína PROTUR 600 [10]	21
Obr. 7	– Ukázka možného provedení turbíny PROTUR [11]	22
Obr. 8	– Montáž turbín v horizontálním provedení [10]	22
Obr. 9	– Schéma hradítka s rozměry v mm [12]	24
Obr. 10	– Vřetenové hradítko [12]	24