

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Možnosti využití programu EPANET 2.0 pro modelování
závlahových systémů sportovišť**

**Possibilities of using the EPANET 2.0 program for modeling
irrigation systems of sports grounds**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.

leden 2021

Bc. Jan Všeťka

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Všetečka</u>	Jméno: <u>Jan</u>	Osobní číslo: <u>438420</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	<u>Možnosti využití programu EPANET 2.0 pro modelování závlahových systémů sportovišť.</u>	
Název diplomové práce anglicky:	<u>Possibilities of using the EPANET 2.0 program for modeling irrigation systems of sports grounds.</u>	
Pokyny pro vypracování:	<p>Rešerše literatury k dané tématice. Analýza vybrané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vytvoření matematického modelu závlahového systému. Vyhodnocení a posouzení provozních parametrů závlahového systému (tlakové a průtokové podmínky, provoz čerpadel, možnosti řízení, atd...). Shrnutí výsledků, závěry a doporučení.</p>	
Seznam doporučené literatury:	<p>KOCHÁNEK, K. Hydromeliorační stavby 20: závlahové stavby. Vyd. 2. Praha: ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02369-9; Kolář V., a kol.: Hydraulika. Praha: SNTL, 1983; Rossman L. A. EPANET 2,0 User's manual. EPA/600R-00/057, 2000; ČSN 75 4306 Hydromeliorace - Závlahové potrubí a trubní sítě; ČSN 75 0434 Meliorace - Potřeba vody pro doplňkovou závlahu.</p>	
Jméno vedoucího diplomové práce:	<u>Ing. Filip Horký, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce:	<u>23.09.2020</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>03.01.2021</u>
<i>Údaj uvedte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>		
_____	_____	_____
Podpis vedoucího práce		Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze dne

.....

Bc. Jan Všečeka

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Filipu Horkému, Ph.D. za odborné vedení, podmětné připomínky, a především za jeho trpělivost a čas, který mi věnoval při psaní této práce.

Děkuji také firmě ITTEC s.r.o. za poskytnuté informace a materiály použité v této práci.

ANOTACE:

Předmětem této práce je zjištění možností využití programu EPANET 2.0 pro modelování závlahových systémů sportovišť. Teoretická část obsahuje popis jednotlivých závlahových systémů, jejich dělení a návrh. Je zde popsána hydraulika tlakového potrubí, charakteristika potrubí a čerpadel a typy modelů trubních systémů. Praktická část popisuje automatické závlahové systémy vybraných sportovních ploch, jejich návrh a následné vyhotovení matematických modelů pro každou plochu. Jsou zde prezentovány výsledky sledovaných hydraulických veličin a následná diskuze možností použití programu EPANET. Cílem práce je zhodnocení možností použití programu EPANET při návrhu a provozu závlahových systémů a definovat rozsah tohoto použití pro jednotlivé plochy.

KLÍČOVÁ SLOVA:

EPANET 2.0; Automatický závlahový systém; Hydraulika; Čerpadlo

ANNOTATION:

The subject of this diploma thesis is to determine possibilities of using an EPANET 2.0 program for modelling sports fields irrigation systems. Theoretical part contains description of individual irrigation systems, their division and design. In the theoretical part is also described pressure piping hydraulics, piping characteristics, pumps and types of pipe system models. Practical part describes the automatic irrigation system of selected sports fields, their design and subsequent execution of mathematical models for every each of these sports fields. In the next part of the thesis are presented results of monitored hydraulic quantities and subsequent discussion options of the EPANET program usage. The objective of the work is to evaluate the possibilities of using the EPANET program in the design and service of irrigation systems and to define the scope of this use for individual areas.

KEY WORDS:

EPANET 2.0; Automatic irrigation system, Hydraulics, Pump

Obsah

1. Úvod a cíle práce	8
A. TEORETICKÁ ČÁST	9
2. Závlahové systémy	10
2.1. Zavlažované plochy	16
2.1.1. Zemědělské plochy	16
2.1.2. Městská zeleň a soukromé pozemky a zahrady.....	20
2.1.3. Sportovní plochy	22
2.2. Návrh automatického závlahového systému	26
2.2.1. Informace o řešeném pozemku.....	26
2.2.2. Vodní zdroj	26
2.2.3. Postřikovače a jejich rozmístění	28
2.2.4. Rozdělení postřikovačů do sekcí	32
2.2.5. Trubní vedení.....	33
2.2.6. Ovládání závlahových systémů	34
2.2.7. Čerpadlo	35
3. Hydraulika	36
3.1. Potrubí	36
3.1.1. Rovnice kontinuity	36
3.1.2. Bernoulliho rovnice	37
3.2. Čerpadlo	40
3.2.1. Q-H křivka.....	40
3.2.2. Q- η křivka.....	42
3.2.3. Hydraulický ráz	42
3.2.4. Optimalizace chodu čerpadel	43
4. Modely trubních systémů	45

4.1. Fyzikální model	45
4.2. Matematický model	46
B. PRAKTICKÁ ČÁST	48
5. Automatický závlahový systém vybraných sportovních ploch	49
5.1. Golfové hřiště Kestřany	49
5.2. Fotbalové hřiště Rakovník	57
6. Model v programu EPANET 2.0	63
6.1. Golfové hřiště Kestřany	63
6.1.1. Vyhotovení modelu golfového hřiště	63
6.2. Fotbalové hřiště Rakovník	68
7. Shrnutí výsledků	71
7.1. Golfové hřiště Kestřany	71
7.2. Fotbalová hřiště Rakovník	74
8. Závěr	79
9. Použitá literatura a zdroje	82
10. Seznam obrázků	85
11. Seznam tabulek	87
12. Seznam příloh	88
13. Seznam výkresů	88

1. Úvod a cíle práce

Tato práce se zabývá možností využití programu EPANET 2.0 pro modelování závlahových systémů sportovišť. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou.

V teoretické části jsou popsány závlahové systémy jako celek včetně jejich dělení podle významu a techniky. Jsou zde rozebrány primární zavlažované plochy a následný návrh automatického zavlažovacího systému v jednotlivých krocích. Další samostatnou kapitolou je část zabývající se hydraulikou trubních sítí. V této části je popsáno základní odvození hydraulických výpočtů pro potrubí tlakových systémů a charakteristika hydrodynamických čerpadel. Závěrem teoretické části jsou rozebrány fyzikální a matematické modely trubních sítí.

Praktická část řeší návrh automatických závlahových systémů vybraných sportovních ploch dle jejich rozdílnosti a specifikací. Následně jsou pro tyto návrhy vyhotoveny matematické modely pomocí programu EPANET 2.0. Účelem jednotlivých modelů je posouzení provozních parametrů jako jsou tlakové a průtokové podmínky, provoz čerpadel či případná optimalizace navrženého systému.

Cílem diplomové práce je stanovit možnosti využití programu EPANET 2.0 pro závlahové systémy sportovišť, případně možnost pro konkrétní plochy blíže specifikovat. Výsledky a matematické modely mohou být brány jako podklad pro další projekční činnost.

A. TEORETICKÁ ČÁST

2. Závlahové systémy

Ačkoliv jsou závlahové systémy, jak je známe, poměrně novodobou technologií, pochází ucelené znalosti závlah ze starověkého Egypta. Již v 5. tisíciletí př. n. l. byly v údolí řeky Nil stavěny hráze sloužící k zadržování vody a následné závlaze zemědělské půdy v okolí. Pozůstatky umělých závlah, a to v podobě výtopových kanálů, byly také objeveny na území staré Arábie, Sýrie a dalších oblastech střední Asie. K jejich rozšíření v Evropě docházelo až v dobách starověkého Řecka a Říma přibližně v 7. století př. n. l. Během středověku však závlahové systémy z území Evropy téměř vymizely. Jejich návrat na naše území je datován v 19. století, kdy se objevuje závlaha pomocí záplavy výtopou a přerodem. (1)

Závlahy jsou řazeny mezi meliorační opatření. Jedná se o závlahu půdy, porostu či přízemní vrstvy vzduchu v takové míře, aby bylo dosaženo co nejvyšších stálých zemědělských výnosů nebo ideálního stavu porostu na okrasných či jiných zájmových plochách jako je například městská zeleň, sportovní a komerční plochy či soukromé zahrady. (1)

Vzhledem k vývoji hydromelioračních opatření v druhé polovině 19. století dochází ke značnému rozmachu závlahových systémů a jejich význam roste především v důsledku globální klimatické změny. V teplejších částech světa je závlaha naprosto nezbytná pro vypěstování potřebných plodiny, v částech s mírnějším klimatem se díky ní zemědělství zefektivňuje. Lze říci, že při nedostatku vláhy rostlina omezuje životní procesy a nedochází k tvorbě organické hmoty včetně biochemických procesů, a to má za důsledek menší výnos a horší kvalitu plodů. Pokud dostatek vláhy není zajištěn přirozenou cestou – srážkami, je třeba navrhnout vhodný druh doplňkové závlahy. (1)

V současné době lze závlahy dělit do několika kategorií: doplňková, hnojivá a zvláštní, mezi které patří např. závlaha protimrazová, klimatizační či ozdravovací.

Doplňková závlaha je z výše zmíněných zcela nejběžnější a slouží ke zlepšení závlahových poměrů v půdě množstvím vody, které je potřebné ke správnému vývoji rostliny a je nejčastěji aplikováno ve vegetačním období rostliny s ohledem na množství přirozených srážek, vlhkost půdy a požadavky vegetace. (1)



Obr. 1: Rozdíl zavlažované a nezavlažované plochy; Autor: Lukáš Vevera

K výpočtu správného závlahového množství – $Mz [m^3 \cdot ha^{-1}]$ nebo mm , jenž definuje množství vody, které je nutno dodat pěstované plodině ve vegetačním období na jednotku zavlažované plochy slouží ČSN 75 0434. Norma zjednodušeně říká, že: „doplňková závlaha je rozdílem potřebného závlahového množství a aktuálního srážkového úhrnu.“ (2)

Pro vytvoření zmíněné bilance pro trávnickové plochy se používá tzv. maximální návrhové týdenní závlahové množství NMz_{max} (Tab. 1) a aktuální srážkový úhrn, jenž lze určit pomocí srážkoměrů a čidel popsanych v následujících kapitolách. Hodnoty NMz_{max} jsou zároveň vhodným nástrojem pro posouzení kapacity vodního zdroje a slouží také k návrhu zásobního objemu nádrže. Při určování bilance spotřeby vody je počítáno po celou sezonu závlahy s maximálním návrhovým závlahovým týdenním množstvím, aniž by byly započítány dešťové úhrny v dané lokalitě. Závlahovou sezonou rozumíme období květe až říjen. (1)

Tab. 1: Potřeba vody pro doplňkovou závlahu (2)

Měsíc	Návrhové závlahové množství NMz mm/týden				
	Zahrady a parky (rostlý terén)	Sportovní plochy			
		Fotbal	Golf		
			Green (Jamkoviště)	Fairway (Dráha)	Tee (Odpaliště)
květen	20	20 až 25	40 až 45	15 až 18	20 až 25
červen	20 až 25	25 až 30	45 až 50	18 až 20	25 až 30
červenec ^a	20 až 25	25 až 35	50 až 70	18 až 25	30 až 35
srpen	20 až 25	25 až 30	50 až 60	18 až 20	30
září	15	15 až 20	35 až 40	15	25
říjen	10	15	30 až 35	10	15

^a Maximální návrhové týdenní závlahové množství NMz_{max} .

Hnojivá závlaha slouží především k dodání chybějících živin do půdy. Nejčastěji k ní dochází během nevegetačního období či během jara a podzimu, ve výjimečných situacích lze provést hnojení i během vegetačního období.

O množství hnojivé závlahy rozhodují hlavně hnojivé vlastnosti zdroje. Mezi nejvhodnější patří kalné říční toky nesoucí větší množství živin, případně jsou vhodné vodní toky, do kterých je sváděna voda z dobře obdělávaných oblastí. Další možnosti pro hnojení půdy jsou vody odpadní, v extrémních případech kejda či močůvka. Ideální jsou vody odpadní z potravinářského průmyslu jako jsou mlékárny či cukrovary. Použitelnou je i městská nebo průmyslová odpadní voda. Je však nutné ji podrobit bližším rozborům, v ideálním případě i vegetačním pokusům. Při vysoké koncentraci živin je možné odpadní vody ředit, v opačném případě přidávat živiny za pomoci minerálních hnojiv. (1)

Mezi **zvláštní typy závlah** patří spíše takové, jenž slouží k jinému účelu, než je primárně závlaha samotná a je třeba je velice specificky přizpůsobit prostředí.

Protimrazová závlaha postřikem je moderní způsob ochrany rostlin proti jarním mrazíkům. Princip je založen na uvolňování skupenského tepla do svého okolí při změně skupenství vody na led. Rostlinu je třeba držet určitou dobu pod trvalým postřikem, ta se následně obalí tenkou vrstvou ledu a zabrání tak zamrznutí květů či plodů.

V porovnání s metodami minulými jako bylo zakuřování, umělá mlha nebo používání ochranných krytů je tento způsob ochrany vhodnější pro rostlinu samotnou a také méně personálně náročný. Nevýhodou jsou vysoké energetické požadavky, stejně jako požadavky na zdroj vody. K nanášení vrstvy vody dochází na celém chráněném území, a to po celou dobu provozu. Protimrazová závlaha postřikem je využívána především v ovocných sadech a je aplikována tzv. nadkorunním postřikem z vysokotlakých rozprašovačů. (1)



Obr. 2: Protimrazová ochrana pomocí postřiku (27)

Klimatizační závlaha slouží k ochlazení teplého vzduchu nad povrchem země. Suchý a příliš horký vzduch má negativní dopad na průběh fotosyntézy a dýchání rostliny, a proto je velice důležité jejich mikroklima zlepšovat. K rozprašování jsou využity rozprašovače s velice malými výtokovými otvory, pracující při vyšších tlacích než běžná závlaha. Klimatickou závlahu můžeme v dnešní době čím dál častěji nalézt také v našem každodenním světě. V zemích s teplým a suchým podnebím se můžeme s klimatizační závlahou setkat například na vlakových či autobusových nádražích ale i v restauracích či barech. (1)

Poměrně velký systém klimatické závlahy najdeme také v Praze. U sídla společnosti Pražské vodovody a kanalizace, a.s. jej jen pár let zpět zprovoznil pan Ing. Luboš Harašta. Tento systém zde slouží k ochlazení vzduchu v přízemí budovy, kolem které je parkoviště a tím pádem se vzduch v letních měsících zahřívá mnohem více. Systém funguje pomocí postřiku přes rozprašovací dýzy, díky nimž dochází k vytvoření umělé mlhy. Při správném návrhu a provozu je tento systém energicky šetrnější než instalace klimatizačních zařízení a v období nejvyšších teplot snižuje teplotu v přízemních kancelářích až o 5°C.

Tento druh závlahy lze také nalézt pod pojmem „Fogging aircondition.“



Obr. 3: Využití klimatizační závlahy (28)

Ozdravovací závlaha slouží jako ochrana před škůdci a chorobami, popřípadě k jejich odstranění. Aplikace probíhá dle nutnosti, v obdobích sucha a mimo vegetační období. Při rovnoměrném a správném množství vláhly zpravidla nedochází k napadení škůdci, jelikož závlaha funguje také jako očištná kúra – podporuje výměnu vzduchu, zlepšuje chemicko-biologickou činnost a vyplavuje škodlivé látky z půdy.

Na zemědělských plochách se ozdravovací závlaha provádí zpravidla v zimě nebo časně z jara, kdy pozemky nejsou využity. Půda se nechá zaplavit vodou, ta na povrchu i v půdě zmrzne, čímž dojde k vyhubení škůdců včetně plevelů. Je nutná zvýšená pozornost kvůli ponechání užitečných porostů. (1)

Pro ovocné sady, vinice ale také travnaté sportovní plochy je použita příměs dezinfekčních roztoků, hubících plísně a jiné škůdce, do závlahové vody. Příměs musí být dávkována vždy s maximální obezřetností, jelikož může také dojít k nevratnému poškození ošetřovaných rostlin. (1)



Obr. 4: Ozdravovací závlaha - fotbalový stadion St. Gallen ; Autor: Jan Všeťečka



Obr. 5: Poškození trávníku plísní - fotbalový stadion St. Gallen; Autor: Jan Všeťečka

2.1. Zavlažované plochy

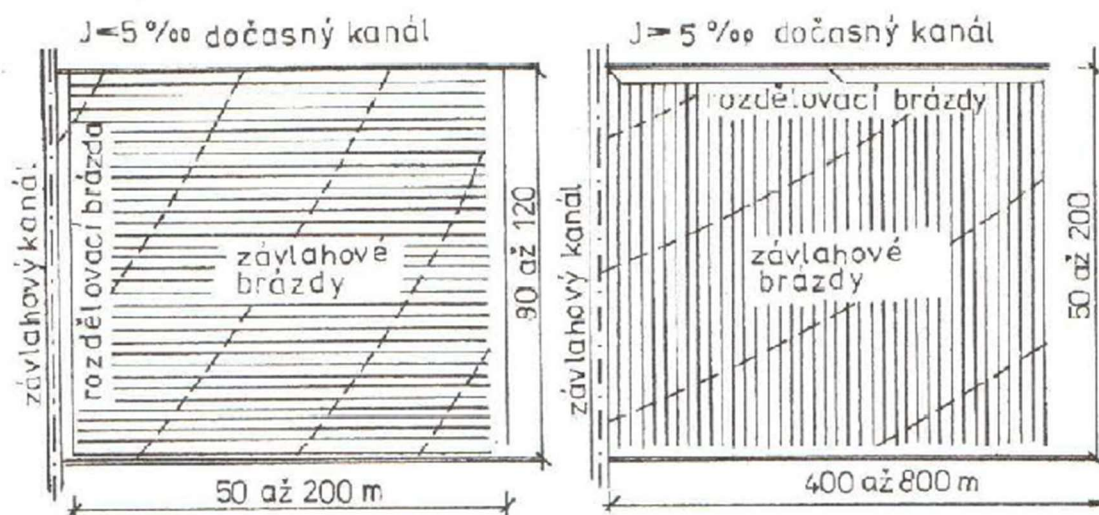
Jak již bylo zmíněno, závlahové systémy vznikly především pro zajištění plodin a postupem času se staly nástrojem pro navýšení výnosu v zemědělství. V současné době se však stále častěji objevují závlahy i ve veřejném sektoru jako je městská zeleň, komerční areály, sportovní plochy a soukromé pozemky a zahrady.

Zavlažované plochy v České republice jsou z 99 % zavlažovány postřikem, jen 0,5 % činí závlaha lokální, tedy pomocí kapkovačů či podzemních rohoží. Ačkoliv je v posledních letech tvrzeno, že je technika postřiku neefektivní, vychází pro velké areály, a především zemědělství nejlépe v posouzení „cena-výkon.“ (1)

2.1.1. Zemědělské plochy

Zemědělské plochy prošly v oblasti závlah značným vývojem. Základní technikou byly tzv. gravitační závlahy. Jedná se o závlahu, kde není zapotřebí téměř jakékoliv užití techniky, a proto je stále hojně využívána v rozvojových zemích. Mezi tyto typy patří závlahy podmokem, přeronom a výtopou.

Závlaha podmokem je nejrozšířenější a funguje na principu vyoraných brázd mezi plodinami. Brázdy jsou vždy rovnoběžné ke směru obdělávání a jejich parametry se odvíjí od druhu půdy. Základním principem této techniky je plnění brázd vodou, která se následně zasakuje a poskytuje vláhu kořenovému systému rostliny. Voda může být přiváděna otevřenými závlahovými kanály, beztlakým či nízkotlakým potrubím. Podmok není závislý na povětrnostních podmínkách a je nízko energetický. Jeho nevýhodou je však vysoká spotřeba vody, nevhodnost pro sklonitý terén, a ačkoliv je možno podmok automatizovat, je vysoce neefektivní. (1)



Obr. 6: Schéma závlahy podmokem (1)

Závlaha přeronom je proveditelná na ploše s mírným spádem. Její využití je vhodné především pro louky a pastviny, jelikož by u polí mohla být porušena půdní struktura. Princip závlahy přeronom závisí na vybudování podélných hřbetin o šířce 10 - 30 m, délce 25 – 100 m a se sklonem okolo 2%. Napuštěním zavlažovacího příkopu v nejvyšším bodě hřbetiny dochází k přetékání vody, která se ve vrstvě cca 2 – 5 cm pohybuje přes přeronomovou plochu a vsakem zvlhčuje půdu. (1)

V Čechách můžeme hřbetinový přeron nalézt v Babičinně údolí, jedná se o, momentálně, nefunkční technickou památku.

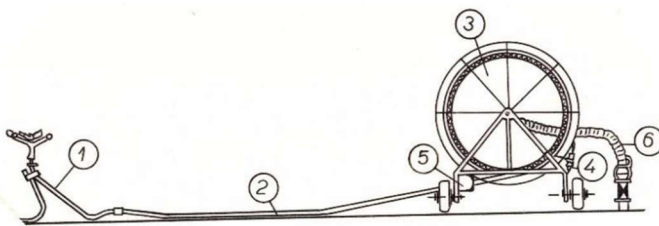
Závlaha výtopou je nejhojněji používaná v Asii, kde ji obyvatelé používají např. pro obdělávání rýžových polí. Půda se zaplaví vrstvou vody (15 – 30 cm) přirozenou cestou nebo pomocí zadržené závlahové vody ve výtopových zdržích. Zavlažované území je děleno lichoběžníkovými hrázkami na jednotlivé výtopové zdrže velikosti cca 10 ha. Půda musí být dostatečně kryta souvislou vegetací, aby nedocházelo k porušení její struktury. (1)



Obr. 7: Závlaha výtopou na rýžovém poli (29)

Jak již bylo zmíněno, nejčastějším způsobem závlahy, a to i zemědělské, je postřík. Pro tuto práci je třeba zdůraznit, že použití postříku v zemědělství je, co se komponentů týče velice odlišné od závlah na veřejných plochách.

Na území České republiky jsou pro závlahu zemědělských ploch postříkem používány především **pásové zavlažovače**, jež jsou složeny z pevného podvozku, cívky s vinutým PE potrubím a ze středotlakého postříkovače umístěného na kolovém podvozku na konci potrubí. Tato sestava je dopravena na místo určení, postříkovač společně s podvozkem je traktorem odvezen do maximální délky vinutého potrubí a následně uveden do provozu. Chod motoru navíjí potrubí zpět na cívku a tím pohybuje postříkovačem v liniovém směru zpět. Touto technikou je zavlažen pruh v dosahu postříkovače, jenž může mít poloměr dostříku až 60 m. (1)



Legenda

- | | | | |
|---|----------------|---|-----------------|
| 1 | stativ | 4 | kolový podvozek |
| 2 | potrubí | 5 | vodní turbína |
| 3 | navíjecí buben | 6 | přípojná hadice |

Obr. 8: Schéma pásového zavlažovače (30)

Dalším typem zemědělské závlahy používající postřik jsou **pivotové zavlažovače**, které jsou tvořeny příhradovou konstrukcí nesoucí jednotlivé postřikovače upevněné k jejímu rámu. Celé konstrukce se otáčí kolem hydrantu umístěného uprostřed zavlažovaného pozemku na podvozcích, a tím zavlažuje kruhovou plochu pod ramenem pivotu. Rameno s postřikovači je zpravidla umístěno nejméně 2 m nad terénem, čímž je tento způsob závlahy vhodný i pro vyšší plodiny. Použití pivotových zavlažovačů je možné pouze na rovinných pozemcích. Délka ramene může dosahovat až 800 m. Nevýhodou bývá náchylnost k převrácení při silných větrech a nevyužití plné kapacity pozemku, jelikož závlaha probíhá pouze v kruhovém půdoryse. (1)



Obr. 9: Pivotový zavlažovač (31)

Samozřejmě i v zemědělství jsou využívány další typy závlah jako např. mikropostřiky, lokální závlaha pomocí kapkovacího potrubí a další.

2.1.2. Městská zeleň a soukromé pozemky a zahrady

V souvislosti se změnami klimatu není výskyt zeleně v městech pouze estetický. Přítomnost zelených ploch se stává naprosto nepostradatelnou pro jakékoliv urbanizované prostředí a přispívá ke snížení teploty a výraznému zvýšení komfortu života ve městech. Zavlažovaná zeleň také zlepšuje na plochách mikroklimatické podmínky a spolu s automatickým systémem závlah napomáhá ke zdržení vody v oblasti. Zautomatizování závlahy se postupem času stalo standartním a nezbytným doplňkem sadových úprav v městských parcích, plochách veřejné zeleně, u tramvajových zelených pásů, zeleně komerčních areálů ale i zahrad rodinných domů. (3)



Obr. 10: Závlaha tramvajového pásu v Praze (32)

V současné době je většina městské zeleně ale i soukromých zahrad zavlažována pomocí postřikovačů, které pokryjí kompletní zájmovou plochu, jako např. v Havlíčkových sadech či na Bastionu U Božích muk v Praze. Stále častěji jsou ale pro komerční zóny realizovány tzv. podzemní závlahy. Jedná se o rohož z podzemního kapkovacího potrubí, jenž se uloží v úrovni kořenového systému trávy, tudíž zde nedochází téměř k žádnému výparu a efektivnost závlahy se ještě zvyšuje. Tato aplikace je však cenově a technologicky o něco náročnější, a proto je využívána poměrně zřídka. Jednou z větších realizací podzemní závlahy je v areálu CTP Vlněna Office Park v Brně.

Každý rok je realizováno několik tisíc závlahových systémů soukromých pozemků a zahrad a několik stovek systémů pro parky a další městskou zeleň. Stejně jako každý obor, i závlaha travnatých ploch prochází vývojem. Celosvětovým trendem je klást stále větší důraz na technologickou vyspělost použitých systémů, především potom na maximalizaci efektivity provozu a minimalizaci nákladů, spotřeby vody a elektrické energie. (3)

2.1.3. Sportovní plochy

Zavlažovací systémy sportovišť jsou velice specifické. Nejedná se pouze o travnaté plochy fotbalových stadionů, ale i golfových hřišť, tenisových kurtů a podobně. V současnosti jsou zavlažovány hrací plochy téměř všech venkovních sportů, a to primárně pomocí postřikovačů různých velikostí a vlastností. Primárně lze závlahu sportovních ploch dělit na doplňkovou u přírodních povrchů a klimatizační u povrchů umělých.

Přírodními povrchy rozumíme travnaté plochy. Hlavními zástupci travnatých zavlažovaných ploch jsou golfová hřiště, fotbalové, rugbyové a baseballové hrací plochy.

Závlahy **golfových hřišť** je nejdražší a současně technicky nejsložitější závlahový systém mezi sportovišti. Jde především o rozlehlost areálů a také o enormní nároky na zdroj vody. Na otázku „co na golfovém hřišti zavlažovat,“ lze odpovědět „všechno.“ Je třeba říci, že česká republika je země golfových hřišť. Je zde největší poměr golfových hřišť na obyvatele a finance, které jsou do těchto areálů investovány bývají obrovské. Pokud budeme brát v potaz pouze materiál týkající se závlahového systému na nově budovaném 18-ti jamkovém golfovém hřišti, může se tato suma pohybovat až okolo 18 mil Kč a spotřeba vody cca 4300 m³/týden. (4)

Tab. 2: Spotřeba vody pro 18-ti jamkové hřiště (4)

typy zavlažovaných ploch	orientační hodnoty závlahy
greeny	cca 400 m ³ /týden
odpaliště	cca 250 m ³ /týden
dráhy	cca 1500 m ³ /týden
celkem	cca 2150 m ³ /týden

Primárně je třeba zavlažovat jamkoviště, tzv. green. Jedná se o úsek, kde končí hra zapadnutím míčku do jamky. Tyto plochy jsou nejudržovanějším místem celého hřiště. Trávník se zde vřetenovými sekačkami kosí extrémně nízko až 2x týdně a drn musí být jemný a vyrovnaný. Tato plocha má speciální péči i co se závlahy týče a vždy se závlahová dávka přesně kontroluje. V současné době je nejčastější řešení závlahy s postřikovači pro green samotný a následně samostatnými postřikovači pro okolí, tzv. perimetr. (4)

Závlaha odpališť, tzv. tee, je obdobně důležitým prvkem jako green. Jeho kvalita závisí na rovnoměrnosti postřiku s tím rozdílem, že okolí je řešeno pouze přestříky použitých postřikovačů. Pouze díky správnému návrhu závlahy a údržby lze docílit maximální odolnosti drnu proti porušení a schopnosti co nejrychlejší regenerace. (4)

Dráha neboli fairway, je prostor mezi odpalištěm a jamkovištěm. I zde jsou v suchých a horkých obdobích vysoké nároky na dodání doplňkové závlahy. Investiční náklady jsou veliké, ale většina hřišť má dráhy pokryty závlahovým systémem. Ten zde lze řešit jednořadým či dvouřadým uspořádáním za použití větších postřikovačů. (4)



Obr. 11: Závlaha golfového hřiště - Golf Konopiště; Autor: Gabriel Hudymač

Závlahy **fotbalových, basebollových a ragbyových hřišť** jsou poměrně standardizované systémy, a proto je zde nejčastější proměnnou vodní zdroj, jenž podléhá samotnému projekčnímu návrhu závlahového systému. Rozměry zavlažovaných ploch se zpravidla liší jen v menším rozsahu daném pravidly příslušného sportu. V minulosti bylo preferováno používání mohutnějších postřikovačů, které obsáhnou svým dostřikem větší plochu. Od tohoto zvyku se v posledních letech začalo ustupovat a nahrazuje je mnohem praktičtější použití menších postřikovačů o větším počtu, kde je docíleno větší variability v provozu a také dokonalejší distribuce vody po celé ploše.

Automatické závlahové systémy hracích ploch nejsou otázkou pouze u klubů profesionálních soutěží, ale díky vnímání klimatické změny, jsou čím dál častěji závlahové systémy realizovány také u menších klubů a sportovních spolků. Realizace

u těchto, v porovnání s golfovými areály, menších ploch je významně cenově nižší. Například materiál pro fotbalové hřiště standardních rozměrů se pohybuje okolo 500 tis. Kč a samotná realizace zkušenou firmou může trvat jen pár dní.



Obr. 12: Realizace závlahového systému - Praha, Sinobo Stadium, SK Slavia Praha (33)

Velice specifickým druhem závlahových systémů sportovišť je **závlaha klimatizační**. Jedná se o postřik umělých povrchů, kterými jsou například umělé trávníky sloužící jako fotbalová hřiště nebo hřiště pro pozemní hokej. Dále je tento typ postřiku používán u jízdáren a v neposlední řadě tenisových či volejbalových antukových kurtů. Zde uvedené plochy mají společné to, že se při realizaci nezasahuje do plochy samotné. Všechny komponenty jsou zpravidla umístěny mimo hrací plochu po obvodu a dostřik jednotlivých postřikovačů nepodléhá pravidlům o dokonalé distribuci jako u závlah travních ploch. (1)

Umělé trávníky nevyžadují přesné množství vody, a proto zde slouží postřik čistě jako chladicí prvek. Závlahový systém je tvořen velkými vodními děly o dostřiku až 50 m, umístěnými po obvodu hrací plochy. Tato děla dodávají velké množství vody a díky úderníku vodu distribuují po celém poloměru dostřiku. Stejný princip je používán i u závlahy jízdáren, kde je třeba udržovat podklad stále vlhký jak kvůli prašnosti, tak pro ochranu jezdeckých koní. Specifikace použitých postřikovačů závisí na rozměrech jízdáren a kolbišť, u kterých je plocha menší a použité postřikovače lze umístit na hrazení. Tyto systémy je třeba správně naprojektovat, jelikož se zde setkáváme s poměrně vysokými průtoky a nároky na čerpací stanice jsou srovnatelné s golfovými hřišti.

Závlahové komponenty pro antuková hřiště musí být poněkud odolnější vzhledem k agresivitě prostředí a musí distribuovat vodu rychleji, aby na určitých místech nevznikala souvislá vrstva vody. Z tohoto důvodu se používají nerezové výsuvné postřikovače s rychlejším otáčením.

Antuková hřiště jsou menších rozměrů, čímž nejsou tak náročná na dimenze potrubí a návrh čerpací stanice.



Obr. 13: Klimatizační závlaha - dostihový areál Chuchle; Autor: Jan Všečeka

2.2. Návrh automatického závlahového systému

Je třeba poznamenat, že každá plocha má svá specifická pravidla pro návrh samotný. V následující kapitole budou uvedeny všeobecné návrhové parametry automatického závlahového systému.

2.2.1. Informace o řešeném pozemku

Pro každý návrh je třeba co nejdůkladnějších informací o řešeném pozemku a požadavcích investora. Je nutné, aby se projektant se situací seznámil sám, nebo si potřebné informace obstaral z fotodokumentace a osazovací plán poskytnutý investorem. (5)

To platí především při projektování zahrad a parků, kde je potřeba brát v potaz rozmístění větší zeleně a mobiliáře, jako např. lavičky, odpadkové koše a jiné. Pro návrh závlahy golfových hřišť platí stejná doporučení jako při návrhu městských veřejných ploch, jelikož se zde nachází jak oddělené sportovní, tak okolní plochy, které jsou děleny cestami, lavičkami a dalším mobiliářem. Při návrhu běžných sportovních ploch, typu fotbalová hřiště či tenisové kurty, jsou tyto informace jednoduše zjistitelné, lze pracovat například s foto-mapami a hrací plocha není téměř ničím dělena.

Ke správnému návrhu je třeba znát podrobnější informace o celkové situaci, jako je vedení veřejných sítí, zdroj vody a elektřiny, napojovací body systému či propustnost půdy.

2.2.2. Vodní zdroj

Pro návrh samotný je vodní zdroj prioritou číslo jedna a vychází z možností dané lokality. Od vydatnosti vodního zdroje se odvíjí celý návrh a zpravidla také cenové relace samotné realizace. Mezi základní vodní zdroje patří vrtané a kopané studny, vody dešťové a povrchové a v neposlední řadě vodovodní řad. Velice častou variantou bývá také kombinace zde zmíněných zdrojů, například dešťová retenční jímka dopuštěná z vrtu či vodovodu. Voda použitá pro zálivku je posuzována dle ČSN 75 7143 – Jakost vody pro závlahu. (6)

Studny vrtané jsou používány především v místech, kde není potřeba velký okamžitý odběr vody. Častou bývá kombinace vrtu a akumulární jímky, která zde slouží nejen jako sedimentační prvek, ale také jako prostor pro akumulaci vodního objemu,

jelikož vrt samotný tento prosto nemá a nasáváním drobných částeczek může dojít k zanesení systému, znehodnocení vrtu či dokonce k jeho zborcení. (5)

Jak již bylo zmíněno, **kopané studny** mají výhodu v samotném akumulacním prostoru, takže se zde může naakumulovat určité množství vody, které například nemusí být využito ihned. Také mohou být použita robustnější čerpadla a není zde takové riziko mechanického poškození částeczkami ve vodě. (5)

Odběr podzemní vody ze studny je možný pouze na základě povolení vodoprávního úřadu vydaného podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Dešťová voda je zpravidla zachytávána v akumulacních jímkách v okolí zastavěných ploch. Vzhledem k vývoji klimatu v posledních letech je přirozené, že použití dešťové vody není jediným zdrojem pro závlahové dávky. Jejich dopouštění je postupem času plně automatizováno a je spouštěno přes elektromagnetické ventily a hlídání hladiny pomocí plováku či hladinových sond. Dopouštění má na starosti slabší čerpadlo ve vrtu či studni, nebo je jímka dopouštěna přímo z vodovodního řádu. Samotná dešťová voda obsahuje vysoké množství mechanických nečistot, a proto je velice důležité zvolit správné předčištění či filtraci vody. (5)

Pro použití dešťových vod a následné dimenzování dešťových akumulacních jímek lze pracovat s normami jako je TNV 75 9011 – Hospodaření se srážkovými vodami (7), která popisuje především decentrální způsob odvodnění. Popisuje tedy nakládání s vodou přímo v místě srážky, konstrukční řešení zasakovacích objektů a zabývá se také znečištěním srážkových vod. Další normou, kterou lze použít v dané problematice je ČSN 75 6261 – Dešťové nádrže (8). Ta však popisuje spíše návrh retenčního objemu pro zachycení povodňové vlny, retardaci odtoku atd.

Povrchová voda má stejně jako dešťová vysoké nároky na předčištění nebo filtraci dopravované vody, většinou je používán jímací objekt a následná soustava jímek, kde jedna z nich slouží jako odkalovací. Využití tohoto zdroje je vhodné pro větší systémy jako jsou tréninkové areály s několika hřišti či kurty nebo golfová hřiště. (5)

Nakládání s povrchovými vodami vždy podléhá povolení vydanému vodoprávním úřadem podle vodního zákona.

Pro malé závlahové systémy je velice časté napojení přímo na **vodovodní řad** uvnitř vodoměrné šachty vlastníka s tzv. podružným vodoměrem čímž lze redukovat poplatek za stočné. Tento způsob je velice snadný a jeho počáteční investice je téměř nulová, avšak následný provoz je, co se ekonomičnosti týče, naprosto nejnáročnější. Je hojně používáno na soukromých pozemcích a zahradách. Průtokové a tlakové nároky zde nejsou na takové úrovni jako pro velké systémy. Pro rostliny však není tento způsob zdroje nejideálnější, jelikož teplota vody se ve vodovodním řadu pohybuje okolo 9 °C.

(5)

Pro námi řešené sportovní plochy jsou nejvhodnějšími, a také nejvyužívanějšími zdrojem povrchové vody. Pro golfová hřiště a fotbalové areály je to kombinace povrchových vod s předčištěním v odkalovacích jímkách a dešťové akumulaci jímky s dopuštěním z vrtů.

2.2.3. Postřikovače a jejich rozmístění

Jak již bylo zmíněno, závlaha postřikem není pro travní porost ta nejideálnější, použití podzemního závlahového systému je však mimořádně finančně nákladné, a proto se stále přikláníme k závlaze postřikem. Postřikovače lze dělit dle jejich konstrukce na výsuvné a nevýsuvné, zároveň dle distribuce vody na rozprašovací a rotační.

Postřikovače nevýsuvné neboli úderové, jsou také známy jako vodní děla, americký výrobce RainBird je označuje jako RAIN GUN. Tento typ postřikovače má vysoké nároky jak na spotřebu vody, až 50 m³.h⁻¹, tak na pracovní tlak, okolo 7 bar. Kombinace těchto parametrů zaručuje maximální dostřik až 60 m. Využití takovýchto prvků je nejčastější pro umělé trávníky, velké jízdárny nebo ve dřevovýrobě pro smáčení uskladněného dřeva. Použití pro travnaté povrchy není vhodné díky velikosti dopadajících kapek a nerovnoměrné distribuci vody. Pro napojení takovýchto postřikovačů, na rozdíl od ostatních, neslouží polyethylenové potrubí, ale jsou ukotveny k pozinkovanému potrubí DN90 a uchyceny v betonových základech o objemu 1 m³.

(9)



Obr. 14: Úderový postřikovač RainGun - fotbalové hřiště Heřmanice; Autor: Gabriel Hudymač

Výsuvné postřikovače se dělí na rozprašovací a rotační. Tyto postřikovače jsou používány na drtivě většině zavlažovaných ploch a jejich výběr pro návrh závisí na zdroji vody a velikosti zavlažované plochy. (5)

Rozprašovací postřikovače vyžadují menší pracovní tlak, ideálně 2,1 bar. Tvoří pomyslnou vodní clonu a distribuované vodní částičky jsou menší než u postřikovačů rotačních, současně je jejich srážková výška téměř jeden krát větší. Díky rozbíjení vodního paprsku na clonu je jejich dostřik od 1,0 do 5,5 m. Tyto postřikovače jsou nejčastěji používány na soukromých zahradách či na složitých a menších plochách. (5)

(9)



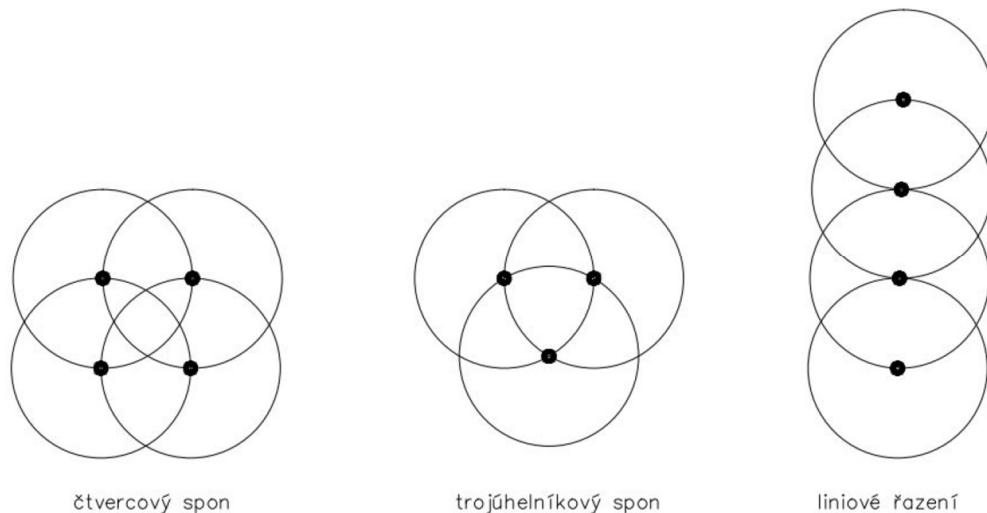
Obr. 15: Rozprašovací postřikovače; Autor: Ing. Ondřej Poul

Rotační postřikovače mají široké spektrum využití. Základním znamením je, že při jejich chodu lze jasně rozlišit jeden či více proudů distribuované vody. Lze je rozdělit dle velikostí a stavby těla a použít je můžeme jak na menších zahradách, tak pro velké systémy jako třeba golfové hřiště. Jejich pracovní tlak se pohybuje od 3,1 bar do 6,5 bar a poloměr dostřiku od 3,4 m do 30 m, při značně odlišných spotřebách vody – upřesněno v praktické části diplomové práce. Srážková výška se určuje dle použité trysky v postřikovači. (5) (9)



Obr. 16: Rotační postřikovač - fotbalový stadion Generali Arena, AC Sparta Praha; Autor: Gabriel Hudymač

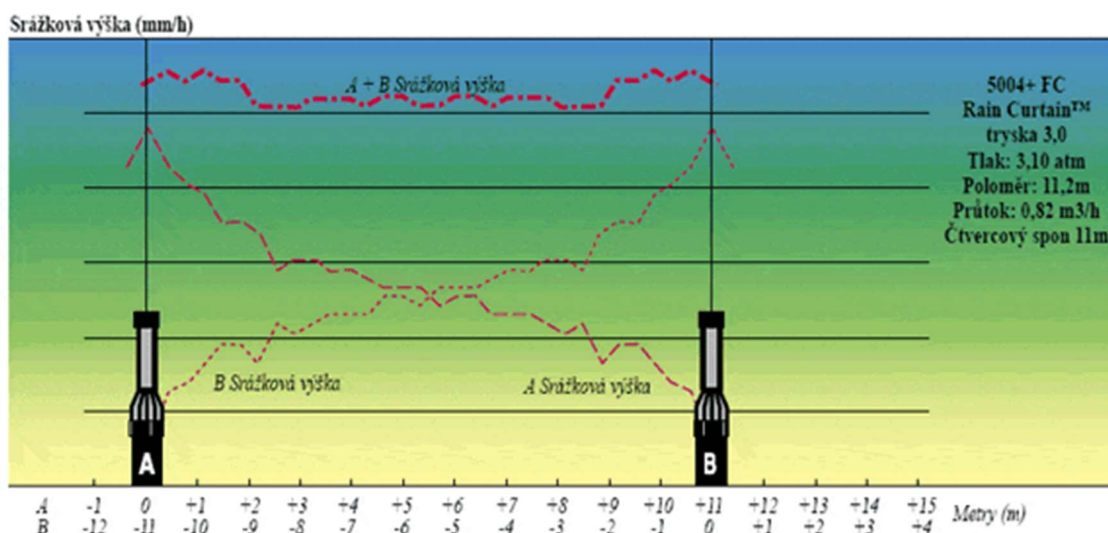
Půdorysné **rozmístění postřikovačů** je nazýváno spon. Nejčastěji se rozlišuje spon čtvercový, trojúhelníkový a liniový. Nejčastěji užitým je spon čtvercový a trojúhelníkový, oba tyto spony se dají použít na pravidelné i nepravidelné plochy, přičemž trojúhelníkové uspořádání disponuje dokonalejší distribucí vody. Liniový spon není tak běžným a jeho využití je spíše pro dlouhé a úzké plochy, jako například fairway na golfových hřištích. V dnešní době se ale i na těchto plochách snaží projektant umístit čtvercový či trojúhelníkový spon postřikovačů. (5) (9)



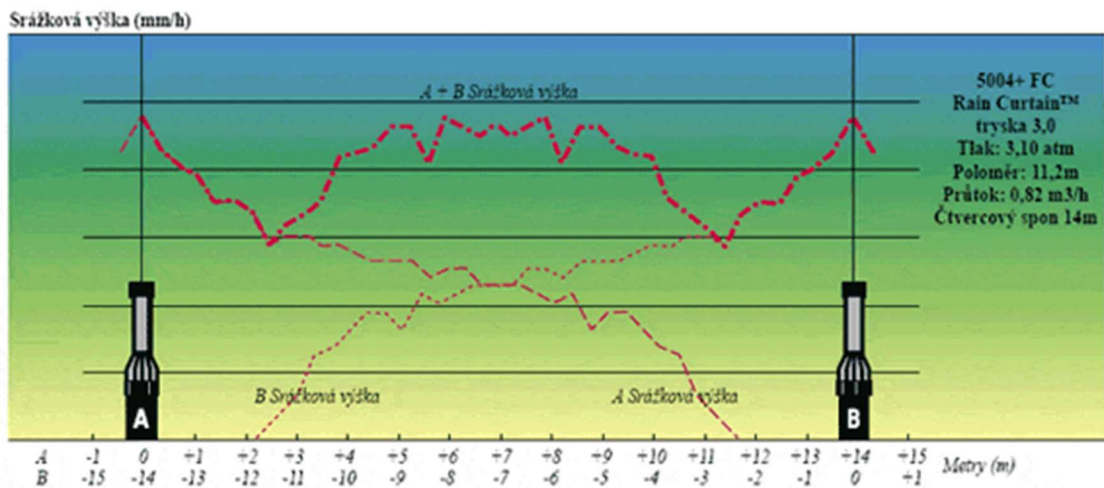
Obr. 17: Typy sponů postřikovačů (5)

ObrXX – Spony postřikovačů

Jen při správném sponu postřikovačů lze docílit požadované rovnoměrnosti závlahy. Snahou je docílení stejné srážkové výšky na celé zavlažované ploše. Doporučované rozmístění postřikovačů lze označit jako „head-to-head.“ Toto označení popisuje dostřik postřikovače dosahující vzdálenosti umístění sousedního postřikovače. Zjednodušeně řečeno: poloměr dostřiku je roven vzdálenosti sousedícího postřikovače. Při jejich ideálním rozmístění lze docílit součtem jejich srážkových výšek téměř vodorovné čáry, viz Obr.18 V toto bodě lze spatřit největší rozdíl ve správnosti návrhu závlahových systémů. Tento případ lze vidět na Obr.19, kde je rozstup mezi postřikovači větší a srážková výška není rovnoměrná. (9)



Obr. 18: Srážková výška při správném rozmístění postřikovačů (10)



Obr. 19: Srážková výška při chybném rozmístění postřikovačů (10)

Při značném nedodržení tohoto základního pravidla dochází k nerovnoměrné srážkové výšce a v sušších měsících se začnou tvořit místa s různými odstíny zelené, později až žluté barvy travního porostu.

2.2.4. Rozdělení postřikovačů do sekcí

Rozdělení závlahového systému do sekcí závisí zpravidla na možnostech vodního zdroje, čerpadla či provozních požadavcích. Sekce jsou samostatné části systému ovládané pomocí elektromagnetických ventilů a tvoří je postřikovače, které jsou vzájemně kombinovatelné především díky stejné srážkové výšce a provoznímu tlaku. Další podmínkou pro vytvoření sekcí je rozmístění postřikovačů na zavlažované ploše, kde je potřeba vzít v úvahu členitost a dispozici plochy. V rámci sportovních ploch je primárním hlediskem tvorby sekcí provozní požadavek správce systémů. V případě nejsofistikovanějších systémů – golfových hřišť, tvorba sekcí správcem není téměř možná a skupiny postřikovačů jsou spouštěny dle tzv. Flow manageru, kde lze určit prioritu jednotlivých oblastí v systému, přesné pořadí spouštěných sekcí však není při automatickém režimu předem známo. Bližší specifikace bude rozebrána v praktické části práce. (9) (10)

2.2.5. Trubní vedení

Trubní vedení je zpravidla realizované z vodovodního PE potrubí a pro určení jeho dimenze je třeba posoudit celý systém z hlediska průtokových a tlakových podmínek. Základní návrhový parametr je maximální rychlost vody v potrubí $v_{\max} = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejčastěji používaným typem je vysoko-hustotní HD-PE potrubí tlakové řady PN10 či PN16. Volba tlakové řady závisí na velikosti systému a výše zmíněných návrhových podmínkách. (10)

Vedení je děleno na hlavní řad a sekční potrubí. Hlavním řadem je označován úsek potrubí od čerpací stanice po elektromagnetické ventily, které jsou odpovědné za chod jednotlivých sekcí. Po otevření hlavního ventilu, tzv. „master valve,“ je toto potrubí stále pod tlakem. Sekční potrubí je následně zodpovědné za dopravení vody od elektromagnetických ventilů k postřikovačům samotným, či k napojení kapkovacího potrubí. Pod tlakem je pouze v případě chodu dané sekce. Pro napojení postřikovačů na sekční potrubí je použito nejrůznějších navrtávacích pasů či T-kusů, která jsou následně propojeny s postřikovači flexo-hadicí, která zaručuje, že se při provozu napojení postřikovače nepoškodí a dokáže „pracovat“ dle podmínek systému. (9)

Kompletní trubní rozvody jsou vedeny v hloubce 300 - 600 mm, a proto je zapotřebí každý rok před zimou celý systém důkladně odvodnit neboli zazimovat. Zazimování je prováděno pomocí vzduchového kompresoru, který se napojí co nejbližší čerpadlu a postupným otevíráním elektromagnetických ventilů v systému je postupně vytlačována voda z kompletního trubního vedení. (10)



Obr. 20: Zazimování závlahového systému - Golf Casa Serena; Autor: Gabriel Hudymač

2.2.6. Ovládání závlahových systémů

Ovládací jednotky slouží k samotné manipulaci se systémem a také k jeho automatizaci, a to úplné či částečné. Jednotky se dají dělit podle několika způsobů, např. na interiérové či exteriérové, dle typu napájení a další způsoby jako je využití, množství dostupných sekcí či jejich využití pro centrální ovládací systémy.

Ovládací jednotky jsou nejběžněji napojeny na zdroj o 230 V a jsou umístěny v interiérech nebo exteriérech, avšak pouze na chráněných místech, kde nehrozí přímý kontakt s vodou či vysokou vlhkostí. V případě, že není možno ovládací jednotku napojit na potřebné elektrické vedení, je možné použít i tzv. bateriové ovládací jednotky. Je možné je umístit do ventilových šachtic nacházejících se v ploše a jsou napájeny pomocí 9 V baterií, které je třeba ročně měnit. Bateriové jednotky jsou umístovány přímo na elektromagnetické ventily. (5)

Samotná ovládací jednotka je volena především dle požadavků správce a velikosti systému. Pro menší realizace jako jsou zahrady stačí použít menší a jednodušší jednotky, kterými lze ovládat 1 až 12 sekcí. Systémy jako jsou parky, komerční areály a sportoviště jsou pak ovládány pomocí větších jednotek, které mají kapacitu 1 až 200 sekcí. Tyto jednotky díky propojení s čidly upravují množství dávkované vláhy dle klimatických změn v oblasti a lze je také napojit pomocí Wifi modulu na domácí síť a následně pomocí aplikace v mobilním zařízení zjednodušit správu systému. Komunikaci mezi běžnou ovládací jednotkou a elektromagnetickými ventily zajišťují elektrorozvody, které nejběžněji tvoří vícevodičové kabely CYKY, kde je vždy jeden vodič společný pro všechny ventily v dané šachtě. U velkých systémů, kde je velké množství spínaných sekcí na rozsáhlé ploše, jako jsou komerční areály, parky nebo golfové hřiště, je použito dekodérového systému. (5)

Díky využití dekodérů nejsou vedeny kabely ke každému elektromagnetickému ventilu, ale lze použít pouze jeden dvoužilový kabel, který je veden k ventilové šachtici a u ventilů je umístěn dekodér. Ten následně rozdělí elektrické napětí pouze pro přidělený elektromagnetický ventil. (11)

Pro rozsáhlé závlahové systémy jsou stále využívanější tzv. centralizované ovládací systémy. Zdokonalení těchto systémů je snahou všech výrobců závlahových komponentů. Firma Rain Bird je největším výrobcem zavlažovacích systémů a v tomto ohledu se drží svého sloganu „inteligentní využití vody.“ Použitím své platformy

inteligentního ovládání IQ4 je možné již u realizovaných systémů v krátkém čase docílit ušetření až 50 % celkových provozních nákladů. Základním stavebním pilířem centrálního řídicího systému je software nainstalovaný v osobním PC, který umožňuje vzdálený přístup a tím pádem úpravu nastavení, kontrolu provozu a poskytnutí chybových hlášení o nestandardních stavech v systému. Tento software neustále komunikuje se všemi použitými ovládacími jednotkami systému, což umožňuje správu několika téměř nezávislých ploch najednou. Ke komunikaci mezi centrálním PC a jednotkami je využíváno Wifi připojení nebo GSM modemů. K tomuto systému je možné nainstalovat profesionální meteostanici, která vyhodnocuje teplotu, směr a intenzitu větru, velikost srážkových úhrnů, barometrický tlak, sluneční záření a další, díky nimž lze určit přesnou hodnotu evapotranspirace a následně systém automaticky upraví závlahové dávky na jednotlivých místech zavlažované plochy. Tento systém byl použit například při realizaci areálu Vlněna v Brně o ploše 3000 m², kde byla navržena především podzemní kapková závlaha. (3) (11)

2.2.7. Čerpadlo

Návrh čerpadla u malých nebo kompletní čerpací stanice u velkých systémů se stále řídí stejnými pravidly týkajícími se Q-H křivky čerpadla a požadavky daného systému.

Pokud je navrhováno čerpadlo, je třeba se vzít v potaz všechny požadavky daného systému a ty musí být splněny. Pokud je však čerpadlo stávající, lze celý systém navrhovat na dané hodnoty Q-H křivky. Je pouze nutné správně rozdělit plochu do sekcí. (5)

3. Hydraulika

3.1. Potrubí

Pro návrh vnitřního průměru potrubí je třeba znát jeho charakteristiku. Ta je počítána hydraulickým výpočtem potrubí z aplikace rovnice kontinuity a výškového tvaru Bernoulliho rovnice pro jednorozměrné proudění.

3.1.1. Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity je také známa jako rovnice spojitosti a popisuje zákon zachování hmoty. Vyjadřuje vztah mezi plochou průřezu $S [m^2]$ a rychlostí $v [m.s^{-1}]$ v daném místě potrubí při průtoku $Q [m^3.h^{-1}]$ (12):

$$Q = v * S = \text{konst.}$$

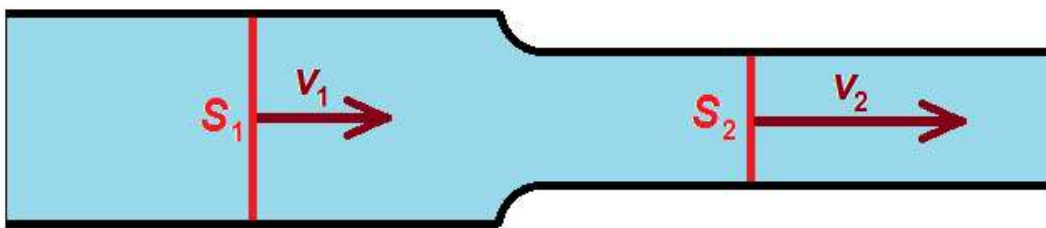
Pro nestlačitelnou kapalinu platí, že je objemový tok $Q_v [m^3.h^{-1}]$ konstantní. Z toho vyplývá rovnice kontinuity pro dva body potrubí ve tvaru:

$$Q_{v1} = Q_{v2} = \text{konst.} \rightarrow S_1 * v_1 = S_2 * v_2 = \text{konst.} \quad (12)$$

Kde: Q_{vi} - objemový průtok v průřezu $i [m^3.h^{-1}]$

S_i - plocha v průřezu $i [m^2]$

v_i - rychlost v průřezu $i [m.s^{-1}]$



x

Obr. 21: Odvození rovnice kontinuity (34)

3.1.2. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice popisuje zákon zachování energie a patří mezi základní rovnice popisující ustálené tlakové proudění.

Rovnice vyjadřuje jednotlivé podíly polohové, tlakové, kinematické a ztrátové energie ku jednomu kilogramu řešené kapaliny. Tyto složky můžeme také nazvat geodetickou, tlakovou, rychlostní a ztrátovou výškou. Těmto složkám dále přidělujeme jednotku *metr vodního sloupce [m v. s.]*. (13)

$$\left(h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right) - \left(h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right) = Z$$

Kde: h_i – geodetická výška [m]

$\frac{p_i}{\rho g}$ – tlaková výška [m]

$\frac{\alpha v_1^2}{2g}$ – rychlostní výška [m]

Z – ztrátová výška [m]

Ztrátová výška Z je tvořena sumou všech ztrát třením Z_t a ztrát místních Z_m .

Ztráty třením Z_t se projevují poklesem mechanické energie kapaliny v potrubí a dochází k nim v celé délce proudění. Tento jev je zapříčiněn především vlastnostmi kapaliny samotné (vzájemné tření částic kapaliny – vazkost) a vlastnostmi potrubí systému (tečné napětí u stěny a vnitřní průměr potrubí).

Pro jejich výpočet je známo několik vztahů, přičemž nejběžněji používaným je rovnice Darcy-Weisbach. (13)

$$Z_t = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Kde: λ – součinitel třecích ztrát [-]

l – délka potrubí [m]

d – vnitřní průměr potrubí [m]

v – střední rychlost v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

g – tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

Pro určení součinitele třecích ztrát λ je použito empirického vztahu, který vychází z relativní drsnosti stěn potrubí a typu řešeného proudění. Ten je popsán Reynoldsovým číslem Re , které znázorňuje hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním.

$$Re = \frac{v d}{\nu}$$

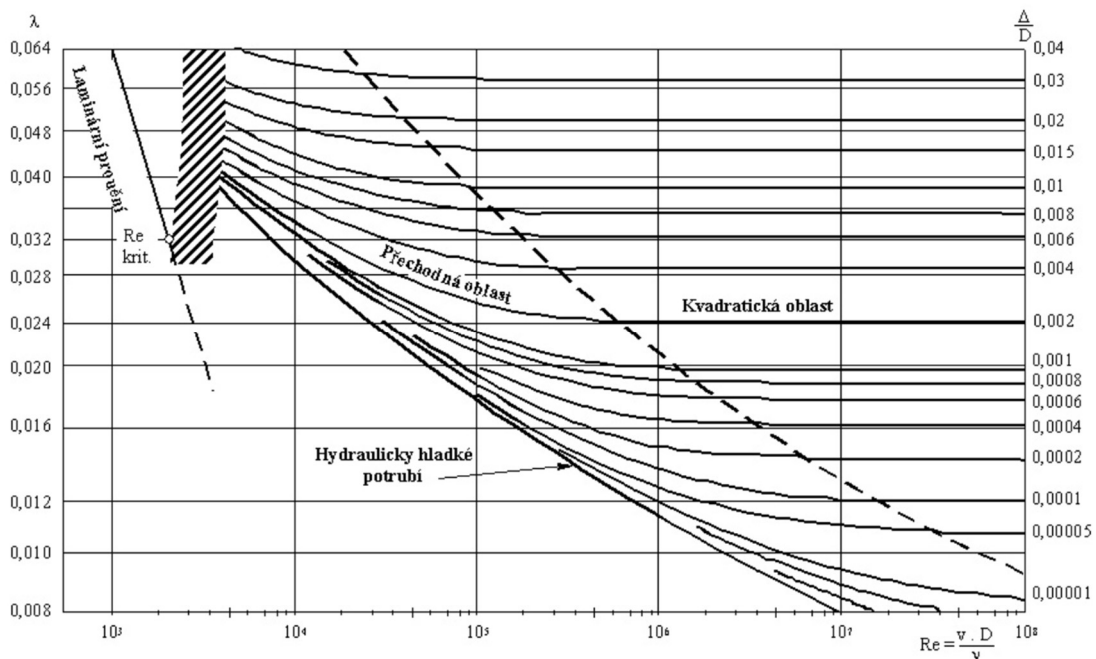
Kde: v – střední rychlost v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

d – vnitřní průměr potrubí [m]

ν – kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Kritickou hodnotou je $Re = 2320$. Je-li hodnota menší, dochází z proudění laminárnímu, naopak hodnota vyšší odkazuje k proudění turbulentnímu.

Jako nástroj pro znázornění vztahu mezi Reynoldsovým číslem Re a relativní drsností potrubí slouží Moodyho diagram. (12)



Obr. 22: Moodyho diagram

Ztráty místní Z_m vznikají v určitých místech tlakového systému, či ve velmi krátkém úseku. Ke vzniku dochází kvůli deformaci rychlostního pole změnou směru, rozdělení či spojení proudu, popřípadě v místech jednotlivých armatur jako jsou např. zpětné klapky, uzávěry atd. Tento typ ztrát bývá ve větších systémech zanedbáván.

Místní ztráta je popsána jako násobek specifického součinitele místní ztráty a rychlostní výšky. (13)

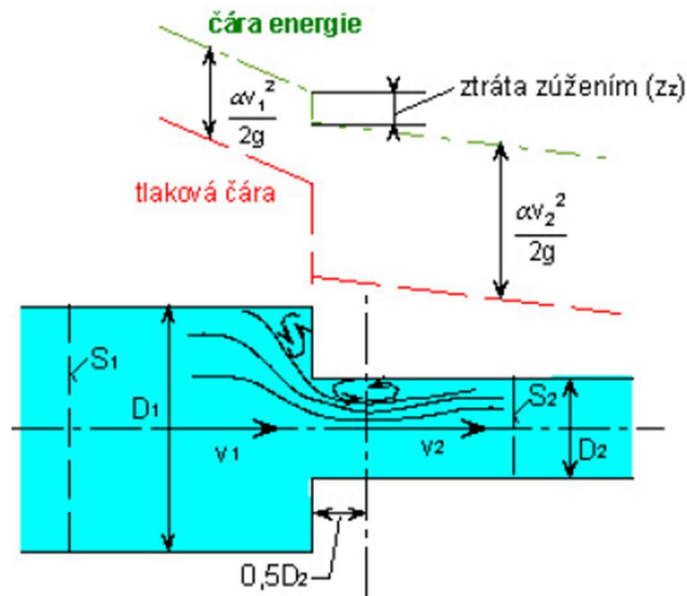
$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Kde: ξ – součinitel místní ztráty [-]

v – střední rychlost v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

g – tíhové zrychlení [$m^2 \cdot s^{-1}$]

Pro účely této práce je výpočet místní ztráty nutno provést pouze pro místa náhlého zúžení, která téměř odpovídají místní ztrátě na vtoku do potrubí. Místní ztráty jednotlivých prvků závlahového systému jsou určeny výrobcem.



Obr. 23: Odvození místní ztráty zúžením (13)

Tab. 3: Hodnoty součinitele místní ztráty Z_m pro náhlé zúžení (13)

D_2/D_1	0,95	0,89	0,83	0,775	0,71	0,63	0,55	0,45	0,32
S_2/S_1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Ztrátový součinitel	0,075	0,16	0,23	0,275	0,31	0,34	0,36	0,38	0,4

3.2. Čerpadlo

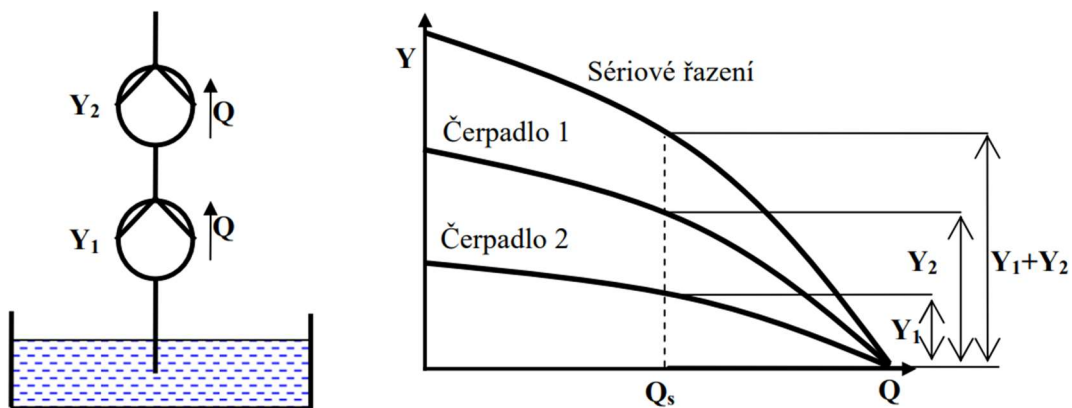
Základním popisem je tzn. charakteristika čerpadla. Její znalost je pro návrh správného čerpadla zcela zásadní. Jedná se o křivky popisující několik veličin, především průtok Q [m^3/h], dopravní výšku $H(Y)$ [m], příkon P [kW], účinnost η [%], otáčky n [s^{-1}] a jejich vzájemný vztah. Pro účely této práce je třeba znát měrnou energii čerpadla (Q-H křivku) a účinnost (Q- η křivku). Uvedené křivky jsou vždy poskytnuty výrobcem. (14) (15)

3.2.1. Q-H křivka

Q-H křivka vyjadřuje vztah mezi dopravní výškou $H(Y)$ [m] / [m v. $s.$] a průtokem Q [$m^3 \cdot h^{-1}$] a je nezbytně nutnou k určení pracovního bodu čerpadla (viz. níže).

Dle velikosti, požadavků navrhovaného systému a zároveň Q-H křivky je vybíráno čerpadlo jedno, či způsob zapojení více čerpadel. Čerpadla se zapojují sériově nebo paralelně.

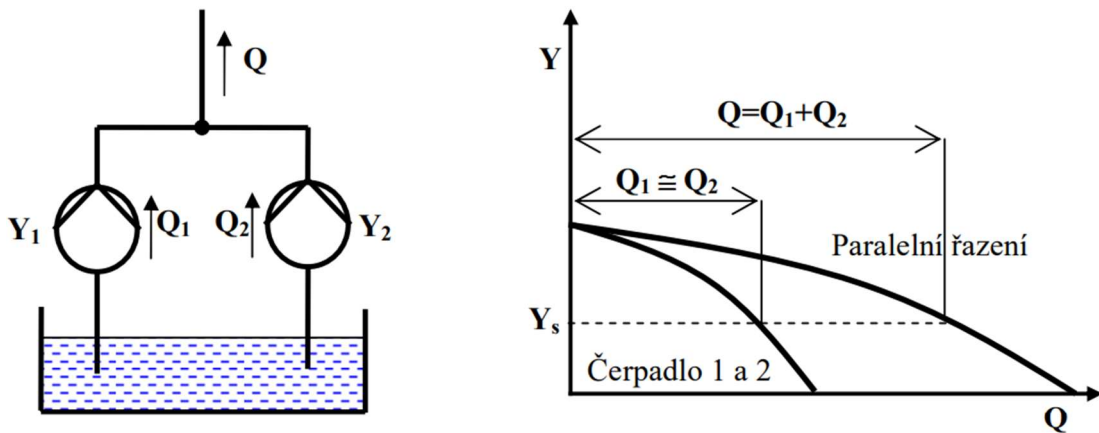
Jsou-li čerpadla zapojena za sebou, tedy sériově, je docíleno vyšší dopravní výšky při stejném průtoku. Výsledná dopravní výška je přibližně rovna součtu dopravních výšek obou čerpadel. (15)



Obr. 24: Sériové zapojení dvou čerpadel (35)

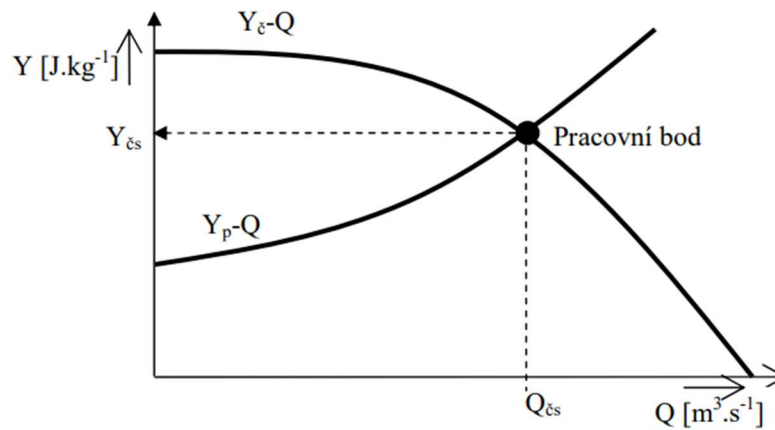
Při návrhu AZS je mnohem častěji využito zapojení paralelní. Toto zapojení je vhodnější při rozdílných průtokových podmínkách v systému, např. sportovní areály jako jsou fotbalová tréninková centra či jízdárny. Při menších průtocích lze využít pouze jedno čerpadlo a s rostoucím průtokovým požadavkem další čerpadla postupně do systému přidávat. Tento systém je zpravidla využívám s identickými čerpadly, takže se jejich Q-H charakteristika neliší. Jsou-li čerpadla zapojena paralelně, je průtok roven

součtu jednotlivých průtoků čerpadel. Dopravní výška a s ní spojený tlak však zůstávají konstantní. (15)



Obr. 25: Paralelní zapojení dvou čerpadel (35)

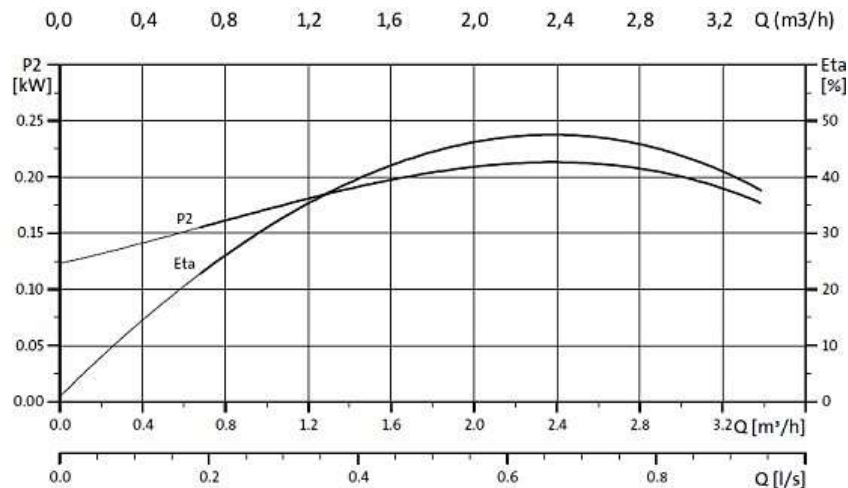
Pracovní bod čerpadla, také znám jako provozní bod, odpovídá průsečíku charakteristik čerpadla a potrubí. Tímto bodem je určeno, jakého průtoku Q a dopravní výšky $H(Y)$ čerpadlo v takovém systému bude dosahovat. Při nesplnění požadavků systému je třeba změnit charakteristiku čerpadla či potrubí. (15)



Obr. 26: Pracovní bod čerpadla (35)

3.2.2. Q- η křivka

Q- η křivka udává závislost účinnosti η [%] na průtoku Q [$m^3 \cdot h^{-1}$] a je dána poměrem hydraulického výkonu a příkonu. Díky ní je zřejmé, jakou účinnost má čerpadlo pro daný průtok, čímž lze nepřímo posoudit i správnost jeho návrhu a jeho ekonomická stránku. (15)



Obr. 27: Q- η křivka čerpadla (36)

3.2.3. Hydraulický ráz

K tomuto jevu dochází u stlačitelných kapalin při neustáleném proudění. Jako hydraulický ráz je označována rychlá změna tlaku a průtoku kapaliny v systému, zpravidla způsobena náhlým uzavřením či otevřením armatury, případně nezajištěním postupného rozběhu či zastavení čerpadla.

Při hydraulickém rázu dochází k přeměně pohybové energie kapaliny na energii pružnosti neboli energie kinetické na tlakovou, a naopak. Většinou k hydraulickému rázu dochází v určité periodicitě. (16)

Tento jev je jedním z častých důvodů při poruše závlahových systémů. Jako nejčastější ochrana proti tlakovým pulzacím je použito prodloužení doby změny průtoku, ať už při spuštění či odstavení čerpadla nebo prodloužení doby uzavírání armatur v systému.

3.2.4. Optimalizace chodu čerpadel

Je hned několik možností, jak chod a řízení výkonu hydrodynamických čerpadel optimalizovat. Mezi ně patří již dříve zmíněné použití více čerpadel, ať sériově či paralelně zapojených, instalace regulačního škrťacího ventilu na výtlačném potrubí nebo použití frekvenčního měniče pro úpravu otáček v různých fázích spuštění systému. Vlastnosti použití více čerpadel byly již zmíněny v kapitole 3.2.1. a lze je současně kombinovat s optimalizací pomocí frekvenčních měničů. (14)

Optimalizace výkonu **pomocí škrčení čerpadla** na výtlačku je řízeno pomocí částečného uzavírání armatury a tím docílení požadovaných hydraulických ztrát a současně snížení průtoku. Při běžném běhu čerpadla, tzn. konstantních otáčkách, dochází k posunu pracovního bodu po Q-H křivce směrem doleva. (14)

Výhodou jsou především nižší pořizovací náklady, pro běžný provoz hydraulických tlakových systému však není tato varianta vhodná. Dochází zde ke snižování účinnosti čerpadla, jeho nepatřičnému namáhání vznikem vysokého provozního tlaku a následnému vzniku kavitace na škrťací armatuře. Lze tedy použít jen krátkodobě.

Pro systémy řešené v této práci je nejvhodnější **použití frekvenčního měniče** a tím řízení průtoku změnou otáček čerpadla. Výkon čerpadla je plynule přizpůsoben požadovanému průtoku. Pokud rostou otáčky lineárně, platí, že při lineárně rostoucím průtoku se zvětšuje odpor v systému kvadraticky. Díky této vlastnosti je změnou otáček řešena velká pracovní oblast. (14)

Výhodou této varianty v kombinaci s častým a krátkým během čerpadla je šetrnost rozběhu čerpadla, tím dochází k menšímu opotřebení mechanických částí čerpadla a úspoře energie, zároveň je vyloučen přebytek dopravní výšky.

Při návrhu frekvenčního měniče, kde je podstatnou složkou dopravní výšky zejména výška geodetická, je třeba ověřit ekonomičnost návrhu a uplatnit zákony afinity pro průtok, požadovanou dopravní výšku a výkon čerpadla. (14)

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Kde: Q_i – průtok [$m^3 \cdot h^{-1}$]

n_i – otáčky čerpadla [s^{-1}]

H_i – dopravní výška [m]

P_i – příkon čerpadla [W]

4. Modely trubních systémů

Pro modely trubních systémů je zpravidla používáno fyzikálního či matematického modelu. Jeho volba závisí na zkoumaných vztazích. Pro účely této práce bylo využito matematického modelu vypracovaného pomocí programu EPANET 2.0.

4.1. Fyzikální model

Fyzikální model vychází z podobnosti modelu a skutečného díla. Zpravidla bývá model menší než skutečné dílo, čímž je samozřejmě levnější a lépe se s ním pracuje. Oproti matematickému modelování jej lze použít i pro jevy, které nejsou dostatečně matematicky popsány.

Získaná data z fyzikálního modelu se následně interpretují dle hydrodynamické podobnosti. Ta se skládá z geometrické, kinematické a dynamické složky a platí pro ně následující vztahy: kinematická podobnost musí splňovat také podmínku geometrickou a podobnost dynamická musí splňovat podmínku kinematickou, čímž splňuje i podmínku geometrickou. (16)

Aplikace jakýchkoliv výsledků naměřených na fyzikálních modelech je možná pouze jsou-li definovány geometrické a hydrodynamické vztahy mezi modelem a skutečným dílem a tím splněny podmínky hydrodynamické podobnosti. Jinak řečeno, jsou-li na modelu M známy hodnoty měřených fyzikálních veličin, potom musím platit, že pro skutečné dílo D jsou tyto hodnoty x -krát větší. Jedná se o délkové rozměry – λ , časové intervaly – τ a hmotnosti – μ odpovídající jednotlivým fyzikálním veličinám jako je: délka l [m], čas [s] a hmotnost m [kg].

Výše uvedené moduly λ , τ , μ jsou definovány následujícími rovnicemi (16):

$$\lambda = \frac{l_D}{l_M}$$

$$\tau = \frac{t_D}{t_M}$$

$$\mu = \frac{m_D}{m_M}$$

4.2. Matematický model

Matematický model je vždy výsledkem fyzikálních procesů. Tyto procesy musí být dostatečně matematicky popsány a je třeba znát vztahy základních měřitelných veličin těchto procesů. (17)

V současné době je známo hned několik nástrojů pro tvorbu matematického modelu trubních sítí. Jedná se o softwary, díky nimž je možné pozorovat tížené veličiny v systému v libovolném čase a tím i posoudit návrh samotný.

AutoPEN je software vyvinutý ve stejnojmenné české firmě, sídlící v Liberci, Ing. Lubomírem Buckem. Je tvořen sadou nástrojů a je používán pro návrh kanalizací, vodovodů, plynovodů či vodních toků. AutoPEN je dělen do jednotlivých modulů a spolupracuje s programy AutoCAD®, BrisCAD či DesignCAD. Jednotlivé moduly jsou k zakoupení na webové stránce firmy AutoPEN a jejich cena se pohybuje od 3000,- do 10 000,- Kč za kus. Program nabízí jednotlivé výstupy. Pro výpočet trubních sítí lze exportovat formulář s výsledky, který lze dále editovat jako textový soubor, či výkresy jako je: situace, podélný profil či kladečský plán. (18) (19)

EPANET 2.0 je software od americké vládní agentury U.S. Environmental Protection Agency-Risk Reduction Engineering Laboratory ze Spojených států amerických. Software byl vytvořen v roce 2000 a od té doby stále patří k nejlepším a nejpoužívanějším nástrojům. O jeho nadčasovosti vypovídá i to, že velké množství ostatních modelovacích softwarů vychází právě ze základů EPANETu a to díky jeho Dynamickému propojení knihoven. EPANET je volně stažitelný a oproti svým konkurentům není velikost modelované sítě nikterak omezena. (20)

Jeho základní funkce umožňují návrh vodovodních sítí, příslušných vodárenských objektů, sledování hladiny vodojemů či sledování stáří vody v systému nebo zbytkového množství chlóru. (20)

Program je založen na výpočtech statické a kvazi-ustálené analýzy hydraulického proudění vodovodní sítě. EPANET nabízí několik základních výpočtů. Mezi takové patří standartní výpočet rychlostí a průtoků v potrubí, tlaky v jednotlivých uzlech a tlakové ztráty. Výpočty tlakových ztrát lze řešit třemi různými vzorci: Hazen-Williams, Chezy-Manning a Darcy-Weisbach, vhodných pro tlakové proudění. (20)

V praktické části práce budou vhodné možnosti použití programu blíže vysvětleny.

MIKE URBAN + je produktem neziskové společnosti DHI se sídlem v Dánsku. Stejně jako většina konkurenčních softwarů funguje na výpočetním jádru EPANETu. Pracovní moduly umožňují výpočty vodárenských systémů, stokových sítí, proudění v otevřených korytech a další jako například stáří a kvalitu vody. Jedním z modulů je také modul HYPRESS sloužící k výpočtu vodních rázů v tlakovém systému. Program MIKE URBAN je komerční software a jeho cena se odvíjí od množství navrhovaných potrubí a zakoupení pracovních modulů. V maximální možné verzi se cena pohybuje okolo 17.500 € bez DPH. Licence jsou k zakoupení na webu společnosti a lze na ně uplatnit vysokoškolské slevy. (21)

SiteFlow byl vyvinut jako soubor programů českou společností Aquion s.r.o. Software je uzpůsoben ke kvazi-dynamické analýze trubní sítě a stejně jako jiné programy pracuje s jádrem EPANETu. Siteflow má několik dostupných modulů díky nimž integruje správu, projektování a simulační modelování trubních sítí do jednoho prostředí. Díky speciálnímu modulu SiteFlow® online, který je propojen s daty z dispečerského měření lze pomocí simulačního modelu zobrazit, co se v síti v minulosti dělo a současně předpovídat neblíží budoucnost, což pomáhá dispečerům předcházet provozním nedostatkům v síti. Siteflow je vyvinut jak pro samotné modelování, tak pro správu sítě jako takovou. Licence lze zakoupit na webu společnosti, a to dle počtu řešených uzlů: 10 – 100 – 300 – 1000 – 3000 až nekonečně mnoho. (22)

B. PRAKTICKÁ ČÁST

5. Automatický závlahový systém vybraných sportovních ploch

Pro účely praktické části diplomové práce byly vybrány dvě sportovní plochy s navrženým automatickým závlahovým systémem. Návrh systému pro golfové hřiště v Kestřanech je časově natolik náročný, že byl poskytnut Ing. Michalem Čermákem z firmy ITTEC s.r.o. Návrh závlahy pro fotbalové hřiště v Rakovníku byl vypracován v rámci diplomové práce.

Oba návrhy byly vypracovány pomocí softwaru AutoCAD a dimenze potrubí počítány dle hydraulických zákonů v tabulce za využití programu MS Excel.

Tab. 4: Výpočet rychlostí a ztrát třením v tlakovém potrubí

PN16								
Vnější průměr (mm)	Vnitřní průměr (mm)	Tl. stěny (mm)	Typ	Délka (m)	Průtok (m ³ /h)	Rychlost vody (m/s)	Relativní tlaková ztráta (m/100m)	Celková tlaková ztráta (m)
225	198,2	13,4	PE100+	100	100	0,90	0,32	0,32
160	141	9,5	PE100+	100	84	1,49	1,19	1,19
125	108,4	8,3	PE100+	100	50	1,50	1,67	1,67
110	95,2	7,4	PE100+	100	38,5	1,50	1,96	1,96
90	79,2	5,4	PE100+	100	26,6	1,50	2,46	2,46
75	66	4,5	PE100+	100	18,5	1,50	3,10	3,10
63	55,4	3,8	PE100+	100	12	1,38	3,34	3,34
50	44	3	PE100+	100	8,2	1,50	5,13	5,13
40	35,2	2,4	PE100+	100	5	1,43	6,23	6,23
32	28	2	PE100+	100	3,3	1,49	8,92	8,92
CELKEM								34,33

5.1. Golfové hřiště Kestřany

Návrh závlahového systému byl proveden společností ITTEC s.r.o., konkrétně panem Ing. Michalem Čermákem v rámci celkové rekonstrukce a rozšíření golfového resortu Písek-Kestřany. Jedná se o 18-ti jamkové hřiště včetně 18 jamek pro FootGolf. Prvních devět jamek vybudoval japonský architekt Sunsaके Kato v roce 2003, dalších devět přibýlo v roce 2008 a v létě roku 2016 bylo zprovozněno zmiňované FootGolfové hřiště. (23)

V této práci použitý návrh závlahového systému byl vyhotoven v rámci rekonstrukce celého resortu, včetně přebudování některých jamek. Návrh obsahuje zcela nové osazení postřikovači, trubní vedení, elektroinstalaci, nejnovější centrální ovládací systém a také novou čerpací stanici. Navržené komponenty jsou od americké firmy RainBird.

Jako zdroj vody je použito dvou vodních ploch s jímacími objekty a dvěma čerpacími stanicemi. Obě vodní plochy mají přítok zajištěn z okolních ploch a ústí do nich okolní malé vodní toky. V severní části je voda jímána pro méně rozlehlou část resortu z Hlubokého rybníka o objemu $V = 9.500 \text{ m}^3$, v jižní části je použito jímacího objektu v bezejmenné vodní ploše o objemu $V = 55.500 \text{ m}^3$ s dopouštěním z Brložského potoku. Obě jímací jezera jsou dopouštěna pomocí drenážního systému hřiště, v případě potřeby je lze dopouštět také pomocí menších přečerpávacích čerpadel z okolních vodních ploch. Čerpací stanice jsou propojeny díky kompletnímu zokruhování trubní sítě v systému, čímž lze docílit zlepšení hydraulických podmínek a zabránit případným haváriím v systému.

Pro účely této práce byla použita pouze reprezentativní část golfového hřiště v jižní části resortu, viz Příloha č. 1, s čerpací stanicí o parametrech: $Q = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při $H = 95 \text{ m}$. Čerpací stanice je umístěna v objektu na břehu nádrže. Jedná se sestavu tří hlavních čerpadel, každé s parametry $Q = 35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při $H = 95 \text{ m}$, sloužících pro dopravu vody do systému a jednoho menšího čerpadla tzv. jockey, které slouží pro vykrytí menších odběrů a případně jako pomocné čerpadlo při rozběhu velkých čerpadel. (Příloha č. 2)

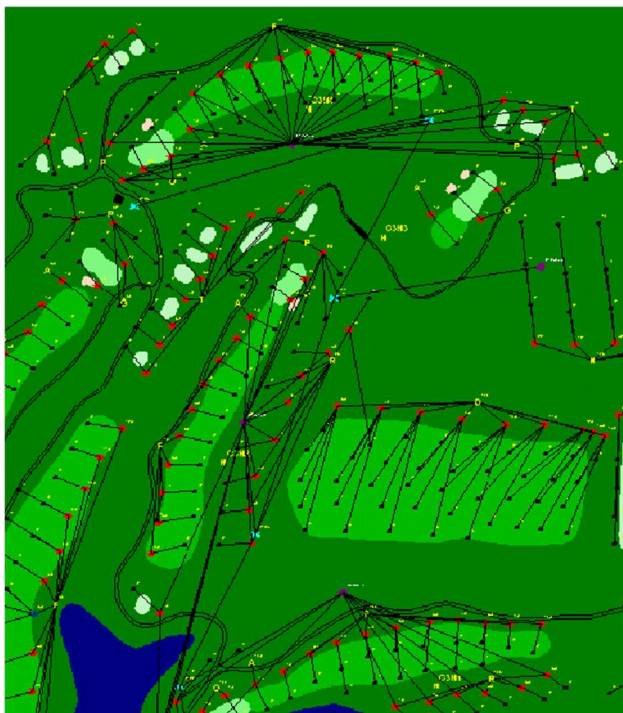
Jako trojice primárních čerpadel je použito typu CR 32-8 od značky Grundfos. (Příloha č.2) Chod všech čerpadel je zajišťován samostatnými frekvenčními měniči. Toto zapojení umožňuje větší variabilitu provozu a zároveň chrání motory čerpadel při rozběhu či menších odběrech.

Ovládání závlahového systému zajišťuje interaktivní software Stratus II od firmy RainBird. Jedná se o software používaný u velkých závlahových systémů jako golfová hřiště, dostihová závodiště či městské zelené plochy. Díky integraci mapových podkladů lze na stolním počítači jednoduše pozorovat, který úsek závlahového systému je v reálném čase v provozu, zároveň lze měnit dobu závlahy či ručně spouštět určité oblasti. Pomocí programu TeamViewer instalovaného v jakémkoliv mobilním zařízení lze také celý systém ovládat přímo z jednotlivých ploch přes vzdálený přístup ke zdrojovému PC, čímž se velice usnadní manipulace s ním. Tento systém má velkou řadu funkcí.

Pro účely této práce je však nejdůležitější funkce Flo-Manager. Smyslem této funkce je maximální využití kapacity čerpací stanice a systému jako celku. Výkon čerpací stanice není při běžném spuštění závlahy nikterak škrcen, a proto je při provozu do trubní

sítě tlačeno cca $Q = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Flo-Manager vyrovnává kapacitu čerpací stanice, průtokové požadavky a kapacitní limity instalovaných trubních rozvodů. Principem je dokonalé zanesení informací o kompletním závlahovém systému do softwaru Stratus v následujících krocích:

- 1) Přidání a nastavení zvolené čerpací stanice. Potřeba zadání všech použitých čerpadel. Software tak může sám vyhodnotit, zde je potřeba spustit všechna čerpadla.
 - 2) Určení hydraulického uspořádání trubní sítě systému zanesením do mapového podkladu.
 - 3) Rozdělení trubní sítě na větve (Branch), hlavní řady (Main Lines) a průtokové zóny (Flo-Zones). Tento krok slouží k postupnému členění celého systému a vytváří postupně pomyslný „závlahový strom,“ kde každá větev má přiděleny hydraulické vlastnosti.
 - 4) Přiřazení průtokových zón k dané potrubní síti/větvi. I zde je potřeba nastavit odběrové kapacity Flo-Zone.
 - 5) Určení sekcí k průtokovým zónám. V tomto případě lze sekcí rozumět uskupení postřikovačů spouštěných otevřením příslušného ventilu, či jednotlivé postřikovače se zabudovaným elektromagnetickým ventilem, jako jsou např. použité postřikovače RainBird Eagle. Sekce lze vkládat jak jednotlivě, tak plošně.
- (24)



Obr. 28: Dělení závlahového systému v softwaru Stratus II (25)

Každá položka systému musí být specifikována. Potrubí je popisováno běžnými hydraulickými vlastnostmi a je zadáván maximální požadovaný průtok. Jednotlivým sekcím či postřikovačům je přiřazena spotřeba vody v předem definovaných jednotkách a musí být také uvedeno číslo dekodéru, díky kterému je požadovaná sekce spuštěna. (25)

Software Stratus II při nastavení potřebných údajů vytvoří tzv. „závlahový strom,“ který si můžeme představit jako zjednodušené schéma celého systému a během závlahového okna spouští dle možných průtokových kapacit různé Flo-Zony nezávisle na sobě tak, aby bylo docíleno maximální kapacity jak čerpací stanice, tak potrubí a byla dodržena potřebná dávka vláhy na všech plochách. Systém je samozřejmě dále nastavitelný, při čemž je možné zadat určitým zónám prioritu či změnit dle potřeby množství závlahové dávky. (25)

Pokud je však systém ponechán v automatickém režimu, lze jen těžko predikovat, která část závlahového systému bude v nejbližších chvílích v provozu, jelikož software sám na základě kapacit a informací z čidel srážek a vlhkosti určí, který úsek bude dodávat určitou závlahovou dávku.

Jak již bylo zmíněno, hlavním pracovním nástrojem při ovládní navrženého závlahového systému je software Stratus II, který je spojen s jednou či více ovládacími jednotkami ESP-LXD doplněnými o potřebný počet rozšiřujících modulů až do počtu 200. Dále jsou jednotky propojeny s čidly srážek a pomocí dvoužilového ovládacího kabelu Decoder-cabel $2 \times 2,5 \text{ mm}^2$, vedeného souběžně s potrubím, s jednotlivými dekodéry. Jedním dekodérem lze ovládat jednu až šest sekcí. Každý dekodér lze nastavit na dobu sepnutí 0 - 900 min v jedno-minutových krocích a nastavit množství dodané vláhy pomocí funkce Water Budget od 0 do 300 % po 1 %. Kompletní elektrické vedení je samozřejmě nutno chránit proti potencionálnímu přepětí chrániči, které jsou připojeny na zemnicí soustavu s hodnotou zemního odporu pod 15Ω . Zemnicí soustavu je třeba spojit také s ovládací jednotkou a systémem Stratus II, čímž je možné dostat hlášení o případné chybě či přepětí v systému a jednoduše lokalizovat místo poruchy.



Obr. 30: Ovládací jednotka ESP-LXD



Obr. 29: Komunikační dekodéry

Hlavní trubní vedení dopravují závlahovou vodu z čerpací stanice do prostoru zavlažovaných ploch. Dimenze tohoto přívodního řadu je navržena jako DN 225, což umožňuje průtok $Q = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při rychlosti $v < 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, v prostoru hracích ploch je nadále zokruhován hlavní řad dimenze DN 160, čímž je možné dále každým směrem dopravovat cca $Q = 85 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při rychlosti $v < 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Navrženo je PE_HD potrubí tlakové řady PN 10 resp. PN 16.

Distribuční trubní vedení dopravuje závlahovou vodu z hlavních řadů přímo na zavlažované plochy. Je použito také tlakových řad PN 10 resp. PN 16. Dle velikosti zavlažovaných ploch je použito menších dimenzí potrubí – DN 110, DN 90, DN 75, DN 63, DN 50 a DN 40. Trubní spoje jsou při realizaci spojovány pomocí elektrotvarovek či pomocí mechanických šroubovacích tvarovek minimální tlakové řady PN 16.

Použité postřikovače jsou typ RainBird EAGLE™ 550/700/750. Tyto postřikovače jsou používány pro nejnáročnější instalace především díky velkému poloměru dostřiku, pravidelnou distribuci vody a také pro vysokou odolnost díky uzavřenému pouzdru a ochraně vodomazné převodovky proti nečistotám. Mají vestavěn elektromagnetický ventil, díky kterému je možné je spínat i jednotlivě. Pro napojení postřikovačů je použito kloubových přípojek, tzv. Swing-joint SJ-125-12 s napojením 5/4“ vnějším šroubením.

Pro odpaliště či menší fairwaye bylo využito postřikovačů RainBird 550 Series Rotors. Jedná se o menší typ postřikovače Eagle.

Specifikace EAGLE™ 550:

Poloměr dostřiku: 8,5 – 14,9 m

Průtok: 1,62 – 3,10 m³.h⁻¹

Pracovní tlak: 4,1 – 6,9 bar

Max. výška vodního proudu: 4,0 m

Trajektorie paprsku vody: 25°

Výška výsuvu trysky: 6,6 cm

Celková výška těla: 24,5 cm

Elektro specifikace:

Solenoid: 24V, střídavý proud, 50 Hz

Spínací proud: 0,41A (9,9 VA)

Trvalý proud po sepnutí: 0,30A (7,2 VA)

(26)



Obr. 31: Rain Bird 550 series Rotors (26)

Průtok je závislý na použité trysce a poloměru dostřiku. Pro účely této práce bylo počítáno s průtokem $Q_{550} = 1,9 - 2,91 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Nastavitelná výška postřiku je od 30° do 345°.

Odpaliště golfového hřiště jsou zavlažována v tzv. blokovém uspořádání. Znamená to, že určité skupině postřikovačů (sekci) je předřazen samostatný elektromagnetický ventil, který tyto postřikovače spouští a vypíná. Všechny postřikovače sekce pak pracují ve stejném režimu. Obecně je na každé odpaliště navržena jedna sekce po 4-8 postřikovačích. Tyto hodnoty jsou průměrné a pro každé odpaliště je provedeno rozmístění postřikovačů dle situace. Ventil je použit s přípojovacím závitem 6/4“ či 2“. Jedná se o ventil typu 150/200-PEB, který je určen pro veřejné a sportovní plochy.

Specifikace 150/200 PEB:Průtok: 0,06 – 45,0 m³.h⁻¹

Pracovní tlak: 1,4 – 13,8 bar

Regulace tlaku: 1,0 - 6,9 bar

(26)

*Obr. 32: Elektromagnetický ventil 150-PEB (26)*

Běžné dráhy jsou zavlažovány řadou EAGLE™ 700 a jamkoviště pomocí EAGLE™ 751. Tyto postřikovače mají stejné technické parametry s tím rozdílem, že model 700 je vyráběn pouze v plnokruhovém provedení a model 751 lze použít jako postřikovač plnokruhový, tak výsečový, přičemž u něj lze nastavit dvě odlišné výše. Pomocí dekodérového systému a vestavěného elektromagnetického ventilu lze použít jeden postřikovač typu EAGLE™ 751 jak pro závlahu greenu, tak při jiném závlahovém okně pro závlahu okolní plochy.

Specifikace EAGLE™ 700/751:

Poloměr dostřiku: 16,8 – 25,3 m

Průtok: 3,82 – 10,02 m³.h⁻¹

Pracovní tlak: 3,5 – 6,9 bar

Max. výška vodního proudu: 4,0 m

Trajektorie paprsku vody: 25°

Výška výsuvu trysky: 8,3 cm

Celková výška těla: 30,5 cm

Elektro specifikace:

Solenoid: 24V, střídavý proud, 50 Hz

Spínací proud: 0,41A (9,9 VA)

Trvalý proud po sepnutí: 0,30A (7,2 VA)

(26)

*Obr. 33: Rain Bird 751 Series Rotors (26)*

V rámci této práce bylo jednoduchým výpočtem ověřeno, že je vodní zdroj dostatečný. Zároveň lze potvrdit dostatečnou kapacitu čerpací stanice. Byla vypočtena spotřeba vody pro kritický klimatický týden, pro který platí následující závlahové dávky:

Green	50 mm.týden ⁻¹		
Perimetr	30 mm.týden ⁻¹		
Odpaliště	35 mm.týden ⁻¹		
Approach	30 mm.týden ⁻¹		
Fairway	22 mm.týden ⁻¹		
Greeny:		140 m ³ .den ⁻¹	980 m ³ .týden ⁻¹
Perimetry:		88 m ³ .den ⁻¹	616 m ³ .týden ⁻¹
Odpaliště:		56 m ³ .den ⁻¹	392 m ³ .týden ⁻¹
Approach:		60 m ³ .den ⁻¹	420 m ³ .týden ⁻¹
Fairway:		52 m ³ .den ⁻¹	364 m ³ .týden ⁻¹
Putting a Chipping:		160 m ³ .den ⁻¹	1120 m ³ .týden ⁻¹
<hr/>			
CELKEM:		556 m ³ .den ⁻¹	3892 m ³ .týden ⁻¹

Maximální předpokládaná doba závlahy:

6 hodin denně, 7 dní v týdnu, tj. 42 hodin týdně

Minimální teoretický výkon ČS:

$$Q_{\min} = V / T = 556/6 = 92.67 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

Navržený výkon čerpací stanice: $Q_{\text{čs}} = 100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ při $H = 95 \text{ m}$

Odhad sezonní spotřeby vody je velice obtížný především kvůli klimatickým podmínkám. Velký vliv má intenzita deště, kde je déle trvající déšť s nízkou intenzitou výrazně prospěšnější než přívalová srážka s krátkou dobou trvání při stejném objemu srážkové vody. Dalšími vlivy mohou být např. konstrukční provedení drenážních a vegetačních vrstev hřiště, typ použité travní odrůdy či údržba hracích ploch greenkeeperem.

Dle dlouhodobých statistik firmy ITTEC s.r.o. je možné celkovou sezonní spotřebu vody odhadnout tak, že v době vegetačního období, duben – říjen, lze počítat s cca 100 dny se závlahou z cca 50 % maximální závlahové dávky: $V_{\text{celkem}} = 100 \times 0,5 \times 556 = 27.800 \text{ m}^3 \cdot \text{sezona}^{-1}$.

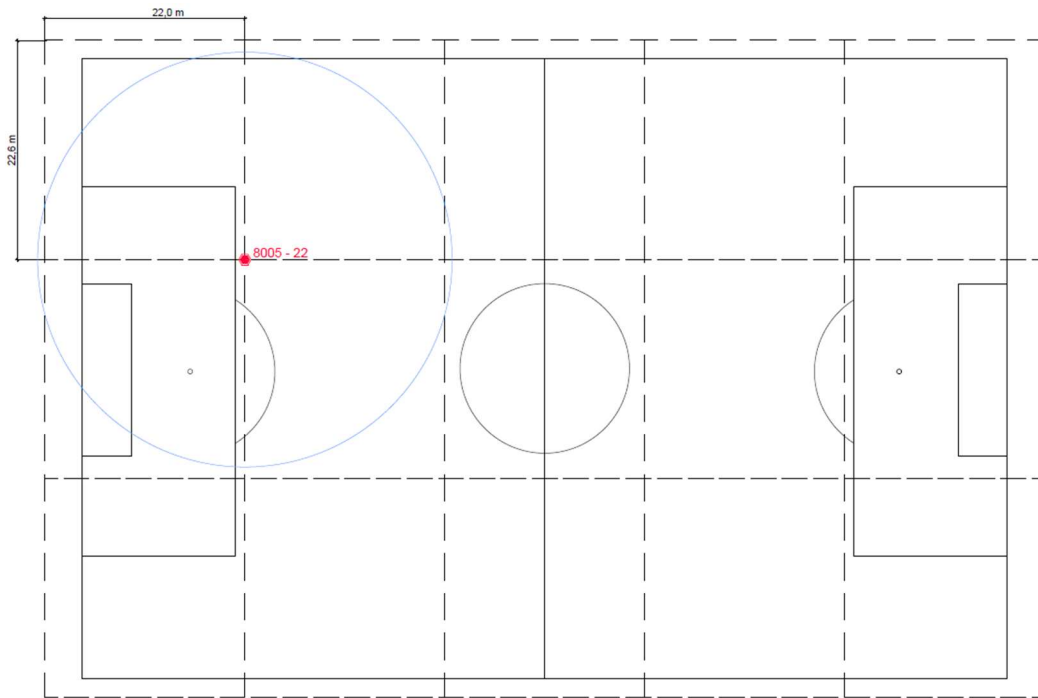
5.2. Fotbalové hřiště Rakovník

Návrh AZS pro fotbalové hřiště s travnatou hrací plochou ve městě Rakovník jsem vyhotovil pro účely této diplomové práce včetně výkazu výměr s použitými cenami dle aktuálního ceníku firmy ITTEC s.r.o., viz Příloha č. 7. Jedná se o travnatou hrací plochu o rozměrech 110 x 68 m včetně zázemí, které je vymezeno pravidly fotbalu a činní minimálně 2 m od pomeznic čar a 4 m od čar brankových. Častou chybou při návrhu a realizaci závlahového systému bývá umístění postřikovačů tak, že postřik neobsáhne kompletní travnatou plochu, čímž vznikají po krajích suchá místa.

V současné době je nejpoužívanějším a zároveň nejvhodnějším systémem pro závlahu travnatého hřiště použití 24 menších postřikovačů, které jsou umístěny po obvodu hrací plochy a zároveň v její ploše. Jedná se o tzv. systém 16 + 8, čímž je řečeno, že po obvodu se nachází 16 postřikovačů s danou výsečí postřiku a uvnitř 8 plnokruhových. Spínání postřikovačů je zajištěno elektromagnetickými ventily. Každý z nich ovládá dva postřikovače, čímž tvoří celkem 12 samostatných sekcí.

Pro návrh samotný byl poskytnut podklad z katastrální mapy s geodetickým zaměřením travnaté plochy hřiště. Následně byly zjištěny základní informace o zdroji vody, dostupném zdroji energie, místě uložení technologie pro čerpací stanici a předběžná poloha ovládací jednotky. Tyto informace jsou pro návrh prioritou.

V prvním kroku byla zavlažovaná plocha rozdělena pomocnými čarami, pro přesné umístění jednotlivých postřikovačů. Pro návrh platí stejný princip jako pro jiné plochy, tudíž je nutné postřikovače rozmístit dle pravidla „head-to-head“ tak, aby byla kompletní plocha zavlažena rovnoměrně. Pro vhodný poloměr dostřiku je měněna tryska postřikovače, přičemž se se zvětšujícím dostřikem zvětšuje také spotřeba vody. Ta je pro všechny postřikovače následně stejná, což zjednodušuje návrh dimenze trubní sítě.



Obr. 34: Modelové rozdělení hrací plochy pro návrh automatického závlahového systému

V případě zvolené hrací plochy je vhodnou tryskou pro osazení postřikovačů, tryska #22 o poloměru dostřiku $R = 22,4 \text{ m}$ a spotřebě vody $Q = 5,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při pracovním tlaku $5,0 \text{ bar}$. Od volby uvedené trysky se dále odvíjí kompletní návrh systému. Požadované rychlosti proudění se pohybují v rozmezí $0,75 - 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což ovlivňuje volbu dimenze potrubí hlavního řadu i sekčního potrubí.

Volbou trysky #22 byla určena velikost jednotlivé sekce na $Q_s = 11,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pro spuštění jednotlivých sekcí a první části sekčního potrubí je třeba počítat s průtokem $Q_1 = 11,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, čemuž pro dodržení pravidel o rychlostech proudění odpovídá potrubí dimenze DN 50 (63x3,8), kde se rychlost proudění pohybuje okolo $v_1 = 1,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Po napojení prvního postřikovače v sekci a zredukování dimenze potrubí připadá průtok $Q_2 = 5,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, pro který lze použít potrubí dimenze DN 40 (50x3,0), proudění dosáhne rychlosti $v_2 = 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

V této práci bylo navrženo trubní vedení 63-63-50, čímž je zkratkovitě popsáno vedení hlavního řadu v dimenzi DN 50 (63x3,8), následně použité stejné dimenze pro první část sekčního potrubí. Po napojení prvního postřikovače je potrubí redukováno na dimenzi DN40 (50x3,0). Trubní vedení musí být uloženo v hloubce min. 350 mm na pískovém loži včetně ovládacích kabelů pro elektromagnetické ventily. Trubní vedení

je vždy spojováno šroubovacími spojkami určenými pro PE potrubí, případně svařováno elektrotvarovkami. Veškeré tvarovky musí být minimální tlakové řady PN 10.

Každá sekce je ovládána samostatným elektromagnetickým ventilem umístěným na navrtávací pas, který je připevněn k hlavnímu řadu. Tyto ventily jsou přístupné přes plastové ventilové šachtice uložené v úrovni povrchu, viz Příloha č. 3. Šachtice je třeba uložit na šterkové lóže a umístit na dobře přístupné místo mimo hrací plochu. Nejvhodnějšími místy pro šachtice jsou prostory za brankovými čarami na obou stranách branek a na jedné straně u pomezí čáry. V každé této šachtici jsou umístěny dva elektromagnetické ventily, spínané pomocí 24 V ovládacích kabelů, ovládající vždy pouze postřikovače se stejnou výsečí postřiku. Kabely musí být opatřeny dvojitou izolací a určeny pro uložení v zemi. Pro tuto práci jsou navrženy kabely CYKY 7 x 1,5 mm². Vhodným typem elektromagnetického ventilu je typ RainBird PGA, určený pro zemědělské, veřejné a sportovní plochy.

Specifikace 150-PGA:

Možnost připojení nátok: přímé / úhlové

Průtok: 6 – 21 m³.h⁻¹

Pracovní tlak: 1 – 10 bar

Regulace tlaku: 1 – 6,9 bar

Cívka: 24 V, 50 Hz

Filtrace vody procházející ventilem

Napojení: 6/4“ vnitřní závit (26)



Obr. 35: Elektromagnetický ventil 150-PGA (26)

Pro připojení jednotlivých postřikovačů je navržena kloubová přípojka RainBird Swing Joint 1“. Díky své konstrukci umožňuje postřikovači „pracovat“ při změnách tlaku v potrubí a snižuje riziko poškození. S potrubím je opět spojena díky navrtávacímu pasu, viz Příloha č. 4.

Pro dokonalou distribuci závlahové dávky bylo navrženo 24 rotačních postřikovačů RainBird řady 8004 se zpětným ventilem. Jedná se o výsuvný převodový postřikovač s vodomaznou převodovkou používaný především pro travnaté sportovní plochy.

Specifikace 8004 FC/PC:

Poloměr dostřiku: 11,9 – 24,7 m

Průtok: 2,54 – 8,24 m³.h⁻¹

Pracovní tlak: 3,5 – 6,9 bar

Trajektorie paprsku vody: 25°

Výška výsuvu trysky: 25,7 cm

Celková výška těla: 25,7 cm

Průměr těla postřikovače: 7,9 cm

Napojení: 1“ vnitřní závit (26)



Obr. 36: Rotační postřikovač 8005 FC/PC (26)

Dle místa osazení jsou u postřikovačů nastaveny požadované výseče a v sekci jsou vždy pouze postřikovače stejné výseče. Je tomu tak kvůli srážkovému množství. Aby bylo hřiště zalito rovnoměrně, je jedna závlahová dávka nastavena pro jednotlivé výseče následovně: 360°- 32 min, 180°- 16 min a 90°- 8 min. Při potřebě častější závlahy se nastaví pomocí ovládací jednotky více startovacích časů. Není vhodné zavlažovat hřiště každý den, ale každé 2 – 3 dny.

Pro výše uvedené hydraulické podmínky je třeba zvolit vhodnou technologii čerpací stanice. Jedná se o kompaktní stanici skládající se z ponorného čerpadla, frekvenčního měniče a tlakové nádoby, viz Příloha č. 5. Pro zvolený závlahový systém bylo zvoleno ponorné čerpadlo STAIRS SP-7018 s parametry: $Q = 12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při $H = 93 \text{ m}$, viz Příloha č. 6.

Čerpadlo bude umístěno ve stávající nadzemní akumulaci jímce o velikosti 42 m³. Zbývající části technologie čerpací stanice je nutné umístit do přilehlého objektu. Za čerpací stanicí bude osazen filtr 2“ PN 10 (DN 50) s vložkou o hustotě 120 mesh, který bude mít z obou stran kulový ventil 2“.

Jelikož je trubní systém veden jako letní vodovod, je nezbytné jej na zimní období důkladně odvodnit pomocí stlačeného vzduchu. K možnosti napojení kompresoru slouží odbočka za filtrem s kulovým ventilem 1“.

Celý závlahový systém je řízen pomocí modulární ovládací jednotky ESP-Me3 umístěné v budově zázemí sportovního klubu. Komunikaci mezi ovládací jednotkou a elektromagnetickými ventily zajišťují kabely CYKY 7 x 1,5 mm², které jsou vedeny

podél trubicí trasy. Jednotka spouští sekce dle předem stanovených startovacích časů a doby závlahy, přičemž lze vybrat až 4 individuální programy pro specifické požadavky správce. Jednotkou lze spouštět dvě sekce současně při maximální kapacitě až 22 sekcí. Díky dostupnému Wifi-modulu lze systém ovládat vzdáleně a není nutný přístup pro běžnou správu. V automatickém nastavení jednotka pomocí bezdrátového čidla srážek vyhodnotí, srážkový úhrn v dané lokaci a případně zavlažovací cyklus odloží. U programů lze také upravovat dobu závlahy dle klimatických podmínek získaných z meteoseveru. Jednotka má také funkci snímání průtoku, čímž lze jednoduše pozorovat stav v síti a předejít případným škodám vzniklých poruchou. Při výpadku proudu uchová jednotka parametry programů a další nastavení díky lithiové baterii.

Specifikace ESP-ME3:

Počet programů: 4

Automatické spuštění: 6 startů na den a program

Doba zavlažování: 1 min až 6 hod pro všechny sekce

Prodleva mezi sekcemi: 1 s až 9 hod

Sezónní nastavení: 5 – 200 %

Rozměry: 27,2 x 19,5 x 11,2 cm

Elektrické specifikace:

Požadované napájení: 230 V AC, 50 Hz

Výstup 25,5 V AC, 1 A (26)



Obr. 37: Ovládací jednotka ESP-ME3 (26)

Pro závlahový systém fotbalového hřiště byla vypočtena bilance spotřeby vody vycházející z kritického požadavku na zálivkové množství max. 25 mm.týden⁻¹. Pro bilanci je brán v potaz tzv. kritický týden, tedy období 7 dnů bez přirozené srážky.

8005 plnokruhová výseč 8 ks – 4 sekce

Srážková výška	11 mm / hod (360°)
Celková doba závlahy na sekci / týden	128 min
Celková doba závlahy na sekci / 1 dávka 4x týdně	32 min
Celková doba závlahy všech sekcí / týden	512 min
Celková doba závlahy všech sekcí / 1 dávka 4x týdně	128 min

Spotřeba na sekci / 1 dávka 4x týdně	5,79 m ³
Spotřeba všechny plnokruhové postřikovače / 1 dávka 4x týdně	23,16 m ³
Spotřeba všechny plnokruhové postřikovače / týden	92,66 m ³

8005 půlkruhová výseč 12 ks – 6 sekcí

Srážková výška	22 mm / hod (180°)
Celková doba závlahy na sekci / týden	64 min
Celková doba závlahy na sekci / 1 dávka 4x týdně	16 min
Celková doba závlahy všech sekcí / týden	384 min
Celková doba závlahy všech sekcí / 1 dávka 4x týdně	96 min

Spotřeba na sekci / 1 dávka 4x týdně	2,89 m ³
Spotřeba všechny výseč. postřikovače / 1 dávka 4x týdně	17,34 m ³
Spotřeba všechny výseč. postřikovače / týden	69,36 m ³

8005 čtvrtkruhová výseč 4 ks – 2 sekce

Srážková výška	44 mm / hod (90°)
Celková doba závlahy na sekci / týden	32 min
Celková doba závlahy na sekci / 1 dávka 4x týdně	8 min
Celková doba závlahy všech sekcí / týden	64 min
Celková doba závlahy všech sekcí / 1 dávka 4x týdně	16 min

Spotřeba na sekci / 1 dávka 4x týdně	1,53 m ³
Spotřeba všechny výseč. postřikovače / 1 dávka 4x týdně	3,06 m ³
Spotřeba všechny výseč. postřikovače / týden	12,24 m ³

Celková spotřeba všech sekcí / 1 dávka 4x týdně 43,56 m³
Celková doba závlahy / 1 dávka 4x týdně 4 hodin
Celková spotřeba všech sekcí / kritický týden 174,24 m³
Celková doba závlahy / kritický týden 16 hod

Z výpočtu vyplývá, že doporučený objem akumulární jímky je min. $V = 43,56\text{m}^3$ a doba jedné závlahové dávky je rovna $t = 4$ hod. Pro vyhotovení návrhu byla poskytnuta stávající akumulární nádrž o velikosti $V_{\text{skut}} = 42\text{m}^3$, která je dopouštěna pomocí menšího čerpadla umístěného ve vrtu poblíž nádrže. Kapacita navržené jímky je o cca $1,5\text{m}^3$ větší než stávající nádrž, jejíž kapacita bude ověřena pomocí programu EPANET.

6. Model v programu EPANET 2.0

Oba výše uvedené návrhy závlahových systémů sportovních ploch byly použity pro vytvoření modelů v programu EPANET 2.0. Modely byly vytvořeny za účelem zjištění funkčnosti návrhu a využití programu EPANET jak pro návrh samotný, tak případně následnou správu systému.

6.1. Golfové hřiště Kestřany

V této části práce bude popsán jednoduchý postup vyhotovení modulu pro vybranou charakteristickou část závlahového systému na golfovém hřišti Kestřany a následná manipulace s modelem za účelem získání potřebných výsledků.

6.1.1. Vyhotovení modelu golfového hřiště

Při vytvoření modelu bylo postupováno dle běžného doporučení výrobce. Je nutné provést **výchozí nastavení** nově vytvořeného projektu, tak aby odpovídalo základním úvahám a zvyklostem uživatele. Jako defaultní jednotky byly zvoleny $m^3 \cdot h^{-1}$ (CMH), základní výpočtová rovnice tlakových ztrát Darcy – Weisbach (D-W) a drsnost potrubí $k = 0,05$ mm. Byl definován souřadnicový systém a nastavena délková jednotka m . Dalším důležitým nastavením je automatická délka, kde program sám vypočte délku taženého potrubí na základě dříve definovaných vzdáleností podkladu.

Návrh závlahového systému v programu AutoCAD byl použit jako podklad pro model a byl vložen ve formátu .bmp. Na tomto podkladu byla vytvořena **trubní síť** včetně jednotlivých uzlů představující postřikovače, změny dimenzí, T-kusy a další.

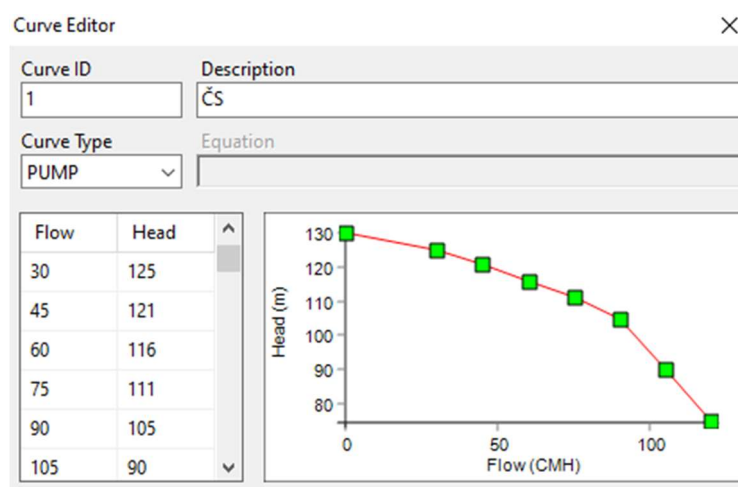
Charakteristika potrubí byla specifikována postupně při tvorbě jednotlivých úseků systematicky dle dimenzí a účelu trubního vedení. Hydraulická drsnost polyethylenového potrubí byla vzhledem k možným výrobním vadám určena jako běžná hodnota $k = 0,05$ mm, místní ztráty byly zohledněny především u změn dimenzí dle Tab. 3. Pro jednotlivé dimenze jsou zadávány vnitřní průměry potrubí, viz Tab. 5 Celkově bylo evidováno 205 trubních úseků.

Tab. 5: Dimenze potrubí dle navrženého závlahového systému

Dimenze	DN 225	DN 160	DN 110	DN 90	DN 75	DN 60	DN 50	DN 40
Vnitřní průměr [mm]	198,2	141,0	95,2	79,2	66,0	55,4	44,0	35,2
Tloušťka stěny [mm]	13,4	9,5	7,4	5,4	4,5	3,8	3,0	2,4

Charakteristika uzlů spočívá v uvedení jejich nadmořské výšky a základního odběru. Nadmořská výška těchto uzlů byla uvažována v místě napojení postřikovačů. Jednalo-li se o trubní tvarovku jako např. T-kus či redukční spojka, byla výška určena pomocí odečtení krycí vrstvy od poskytnutých vrstevnic. Potrubí je běžně ukládáno do rýhy o hloubce 0,3 m, tudíž byla tato hodnota odečtena od uvedených vrstevnic. Jako nadmořská výška uzle popisujícího postřikovač byla, vzhledem k osazení těla postřikovače, použita hodnota příslušné vrstevnice. Jednotlivé typy postřikovačů bylo vhodné označovat pomocí vlastnosti *Tag*, což ulehčilo následné editování zmíněných vlastností.

Pro vytvoření základní charakteristiky modelu definujeme **vodní zdroj a čerpací stanici**. Vodní zdroj je stejně jako v návrhu uměle vytvořené jezero o objemu $V = 55.500 \text{ m}^3$. Pro účely této práce je zdroj brán jako neomezený, ačkoliv se toto tvrzení velice blízce blíží realitě. Tímto krokem lze model značně zjednodušit, což bude popsáno v následujících řádcích. V tabulce popisující vodní zdroj lze tedy vyplnit pouze nadmořskou výšku jímacího bodu, která je neměnná.



Obr. 38: Zadání Q-H křivky čerpací stanice v programu EPANET 2.0

Čerpací stanice je brána jako kompaktní prvek, a ačkoliv se skládá ze tří hlavních a jednoho pomocného čerpadla, lze její vlastnosti uvádět díky vhodnému návrhu jako čerpadlo jedno. Charakteristická křivka čerpadla byla použita dle technického listu čerpací stanice a její výkon byl, po konzultaci s hlavním technikem čerpacích stanic z firmy ITTEC s.r.o., pro použití frekvenčních měničů o 10 % ponížen.

V předchozích kapitolách bylo vysvětleno, že určité prvky závlahových systémů lze spínat samostatně a jiné musí být spuštěny pomocí elektromagnetických ventilů. Používané ventily pro sportovní plochy mají regulátory tlaku, díky nimž lze tlak v systému upravit na správcem požadovanou hodnotu. Tyto ventily byly v modelu nahrazeny tzv. *Pressure Reducing Valve (PRV)*. Jedná se o ventily redukcující tlak v části systému, kterou dokáží zároveň uzavřít. Díky této vlastnosti byly použity pro model jako alternativa pro elektromagnetické ventily a umístěny na spojovacím potrubí mezi hlavním řadem a požadovanou skupinou postřikovačů. Ventily byly nastaveny na požadovaný výstupní tlak, byla jim přidělena místní ztráta dle hodnot uváděných výrobcem elektromagnetických ventilů a nastaven prvotní stav jako uzavřený.

Property	Value
*Valve ID	70
*Start Node	43
*End Node	45
Description	
Tag	
*Diameter	44
*Type	PRV
*Setting	60
Loss Coeff.	0.42
Fixed Status	Closed

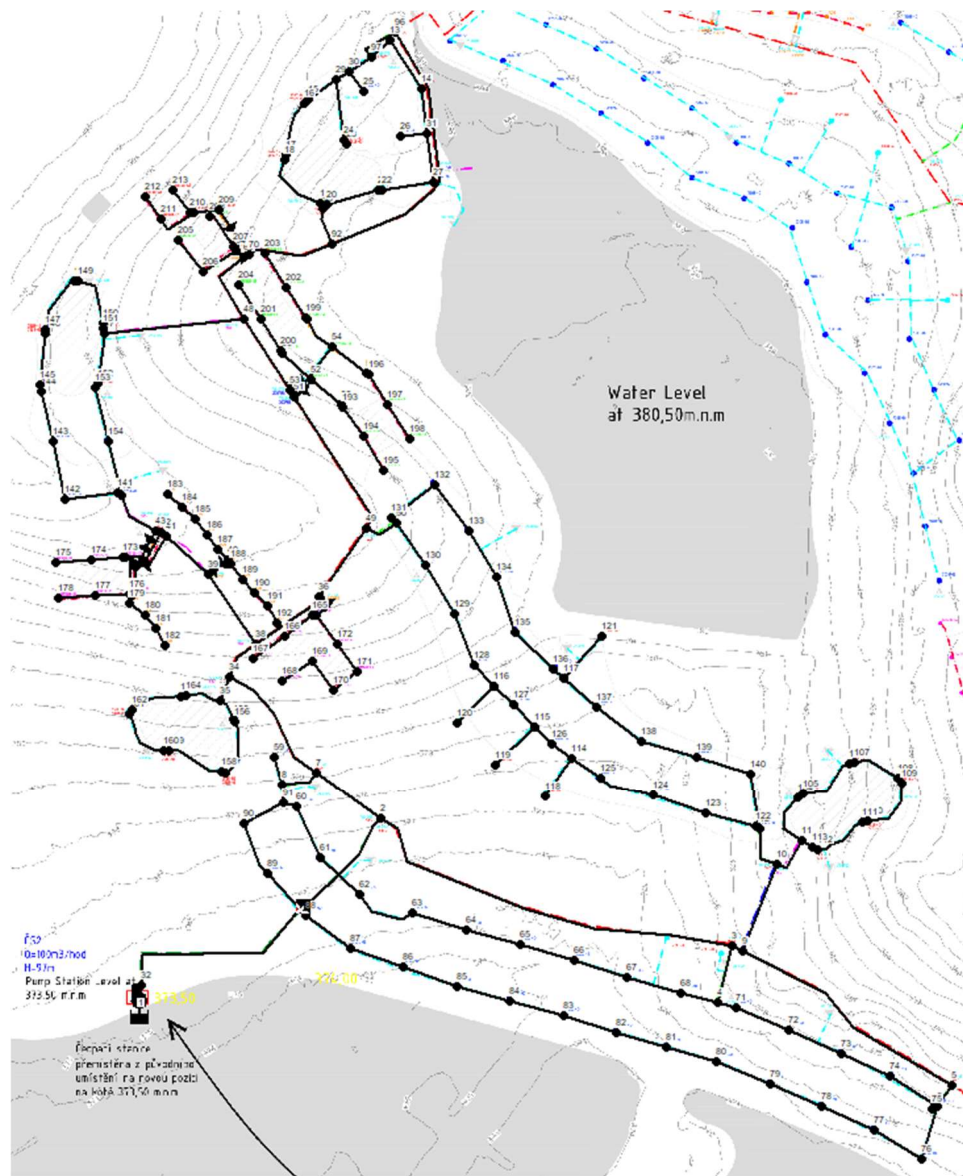
Obr. 40: Nastavení ventilu v programu EPANET 2.0

m ³ /h	100-PEB 100-PESB	150-PEB 150-PESB	200-PEB 200-PESB
1,2	0,12	-	-
3	0,15	-	-
6	0,32	0,26	-
9	0,68	0,24	-
12	-	0,26	-
15	-	0,33	-
18	-	0,42	0,32
21	-	0,57	0,34
24	-	0,74	0,41
27	-	0,92	0,51
30	-	1,14	0,64
33	-	1,38	0,77
36	-	-	0,90
39	-	-	1,04
42	-	-	1,18
45	-	-	1,34

Obr. 39: Místní ztráty elektromagnetického ventilu 150-PEB (36)

Po definování všech výše uvedených specifikací potrubí a uzlů lze s modelem dále pracovat a začít dělit zvolenou plochu dle pravidel navrhování závlahových systémů do jednotlivých sekcí. Jak již bylo řečeno, tvorba samostatných sekcí není u závlahového systému golfového hřiště zcela jednoznačná a pevně daná jako je tomu například u jiných ploch včetně sportovní plochy zpracované v druhé části praktické části této práce.

Bylo tedy snahou rozdělit zájmovou část hřiště smysluplně do sekcí dle jednotlivých souvisejících ploch a uskupení a pokusit se napodobit zavlažovací strom tak, jak je automaticky tvořen centrálním ovládacím systémem Stratus II.

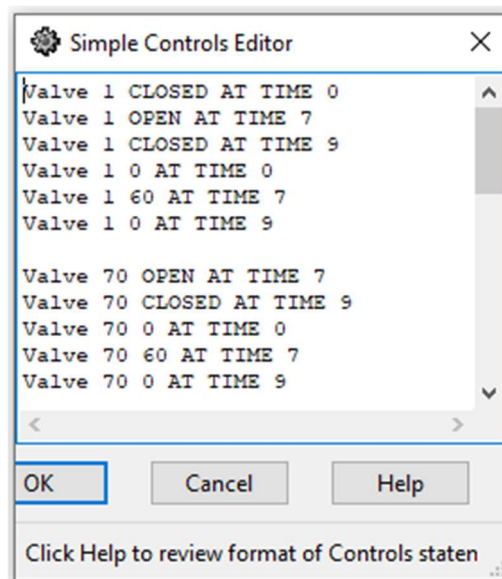


Obr. 41: Schéma modelu zájmové oblasti - Golf Kestřany

Vytváření sekcí není v návrhu závlahového systému řešeno, proto byly primárně spojovány postřikovač dle typu hrací plochy a následně zkoumán systém jako celek. Pro tuto část bylo vytvořeno dvanáct samostatných sekcí, ke kterým byly přiřazeny časové řady popisující jejich spuštění. Jelikož bylo účelem posouzení návrhu a využití programu EPANET, nebyly v tomto případě časy chodu jednotlivých sekcí upravovány dle potřeb zavlažované plochy, ale byly modelově spouštěny na dobu jedné hodiny.

Každé sekci byla přiřazena časová řada trvající 1 hod a následně jednotlivým uzlům/postřikovačům přiřazena daná časová řada v kolonce *Demand Pattern*.

Pro sekce spouštěné pomocí elektromagnetických ventilů není pouhé přiřazení časového kroku adekvátní, neboť tyto sekce nemohou být pod tlakem jako zbytek hracích ploch. Tuto specifikaci lze vyřešit pomocí jednoduše definovatelných podmínek v příkazového řádku, kterými lze říci, kdy se ventil otevře, zavře a na jakou hodnotu tlak v potrubí zredukuje.



Obr. 42: Nastavení spínání PRV ventilů pomocí "Simple Controls Editoru"

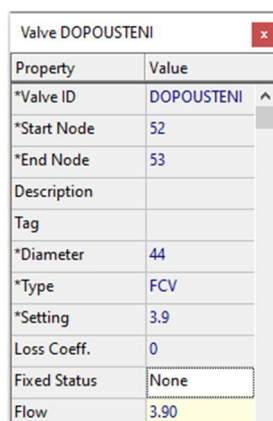
6.2. Fotbalové hřiště Rakovník

Pro vyhotovení modelu závlahového systému fotbalového hřiště v Rakovníku byl proveden jeho návrh, viz [Kap. 5.2](#). Na základě tohoto návrhu byl model v programu EPANET nastaven na stejné výchozí podmínky jako v případě modelu pro golfové hřiště v Kestřanech. Díky shodnému nastavení a postupu při vyhotovení modelu lze docílit shodných podmínek pro správné posouzení možnosti využití programu EPANET pro rozdílné systémy.

Jako prvotní vstup byl model opět nastaven na výpočtovou rovnici Darcy-Weisbach, použitými jednotkami zůstaly $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ a drsnost potrubí $k = 0,05 \text{ mm}$. Pro celkově menší rozměry systému byly místní ztráty započítány pomocí dostupných hydraulických tabulek a hodnot poskytnutých výrobcí jednotlivých prvků pro redukce dimenze potrubí, jednotlivé trubní tvarovky, elektromagnetické ventily a také pro filtrační sestavu umístěnou za čerpací stanici. Tyto místní ztráty byly nastaveny v jednotlivých uzlech, případně částech potrubí pomocí vlastnosti *Loss Coefficient*.

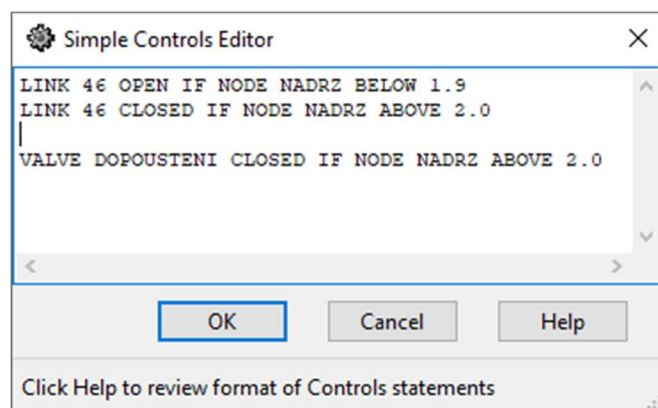
Pro jednotlivá trubní vedení, důležité uzly, ventily a odběrné body (postřikovače) byla zadána charakteristika stejně jako tomu bylo v modelu pro golfové hřiště.

Vodní zdroj použitý v tomto modelu je stávající akumulární jímka o objemu $V_N = 42 \text{ m}^3$, dopouštěná pomocí osazeného vrtu v její blízkosti. Průměrný povolený odběr z vrtu je $1,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, tedy $3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. S ohledem na nedostatek podrobných dat o vodním zdroji byl pro účely této práce vrt namodelován jako neomezený zdroj a jeho výšková kóta byla nastavena tak, aby byla nádrž dopouštěna gravitačně. Pro omezení průtoku byl použit *Flow Control Valve (FCV)*, jehož vlastnosti byly definovány pro spuštění dopouštění při dané hladině.



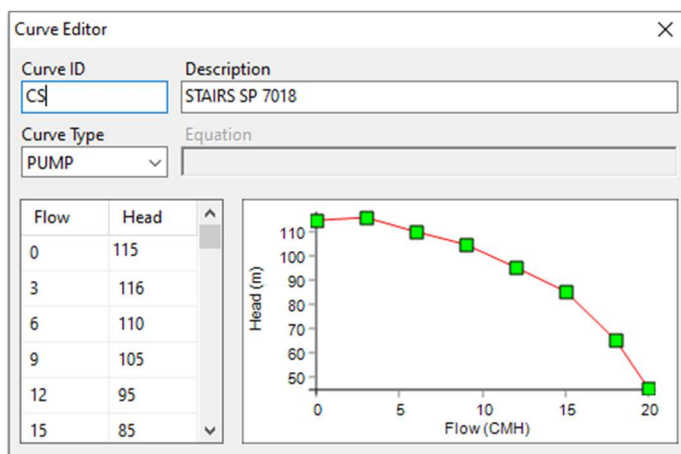
Property	Value
*Valve ID	DOPOUSTENI
*Start Node	52
*End Node	53
Description	
Tag	
*Diameter	44
*Type	FCV
*Setting	3.9
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None
Flow	3.90

Obr. 44: Nastavení FCV ventilu při dopouštění nádrže

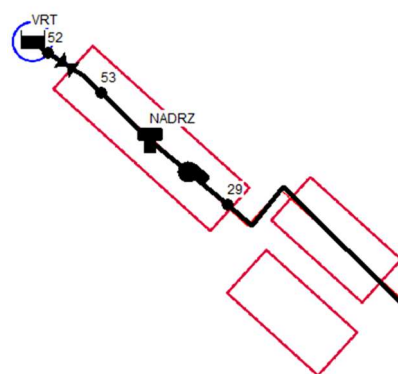


Obr. 43: Nastavení dopouštění nádrže pomocí "Simple Controls Editoru"

Čerpací stanici byla přiřazena charakteristická křivka čerpadla dle technického listu výrobce (Příloha č. 6). A stejně jako v případě sacích čerpadel použitých na golfovém hřišti, i zde byl výkon o 10 % ponížen.



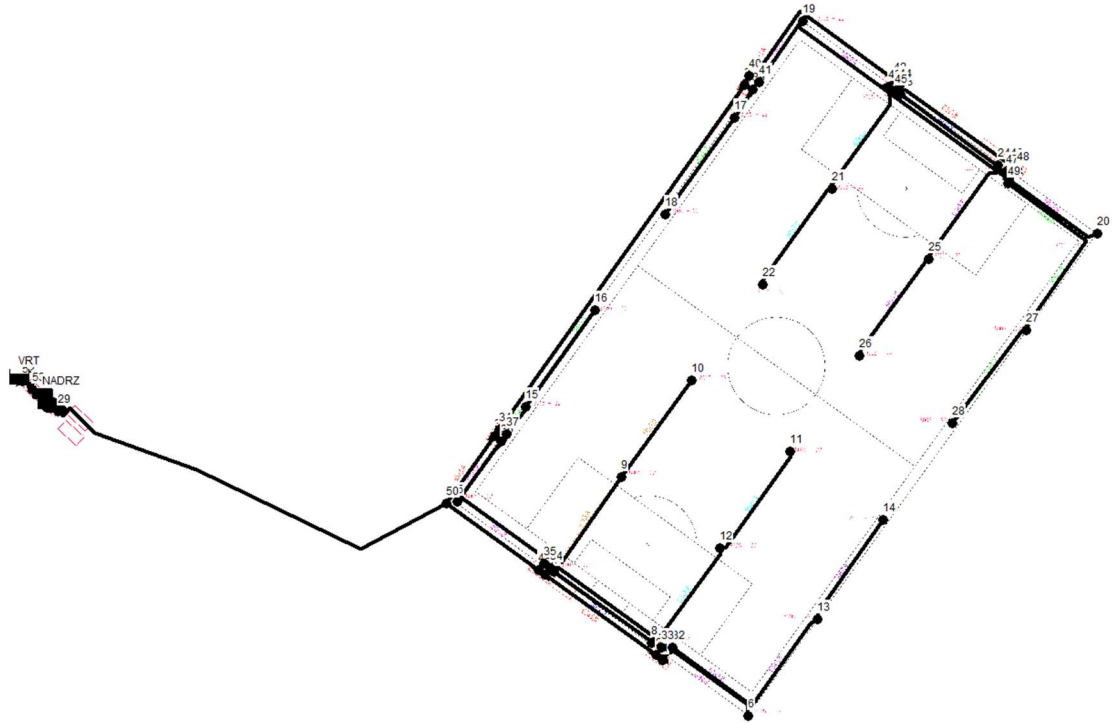
Obr. 45: Charakteristika navrženého čerpadla STAIRS SP 7018



Obr. 46: Schéma vodního zdroje v programu EPANET 2.0

Po nastavení výše uvedených prvků je třeba nastavit doby spuštění pro jednotlivé sekce. Jak již bylo řečeno, je nutné časové řady jednotlivých sekcí rozdělit, aby byla dodržena pravidelnost a rovnoměrná závlahová výška pro všechny sekce. Pro tento účel byly použity hodnoty z výpočtu bilance spotřeby vody, kde je dáno, že sekce s postřikovači mající 90° výseč jsou spuštěny na 8 min, postřikovače o výseči 180° na 16 min a plnokruhové sekce na 32 min. Princip je dodržen díky nastavení časové řady (*Patterns*) jdoucí po 8 min v kolonce *Demand Pattern*. Pro každou sekci byla přiřazena zvláštní časová řada navazující na spuštění dalších sekcí.

Při dodržení všech výše uvedených specifikací byl model spuštěn a provedeno posouzení návrhu a dalšího užití programu EPANET pro standartizované plochy, jakou je například fotbalové hřiště.



Obr. 47: Schéma modelu fotbalového hřiště Rakovník v programu EPANET 2.0

7. Shrnutí výsledků

V rámci práce s vyhotovenými modely byly spuštěny simulace pro všechny průtokové řady obou modelů. Níže komentované stavy jsou pouze reprezentativní části hodnocených časových řad jednotlivých systémů.

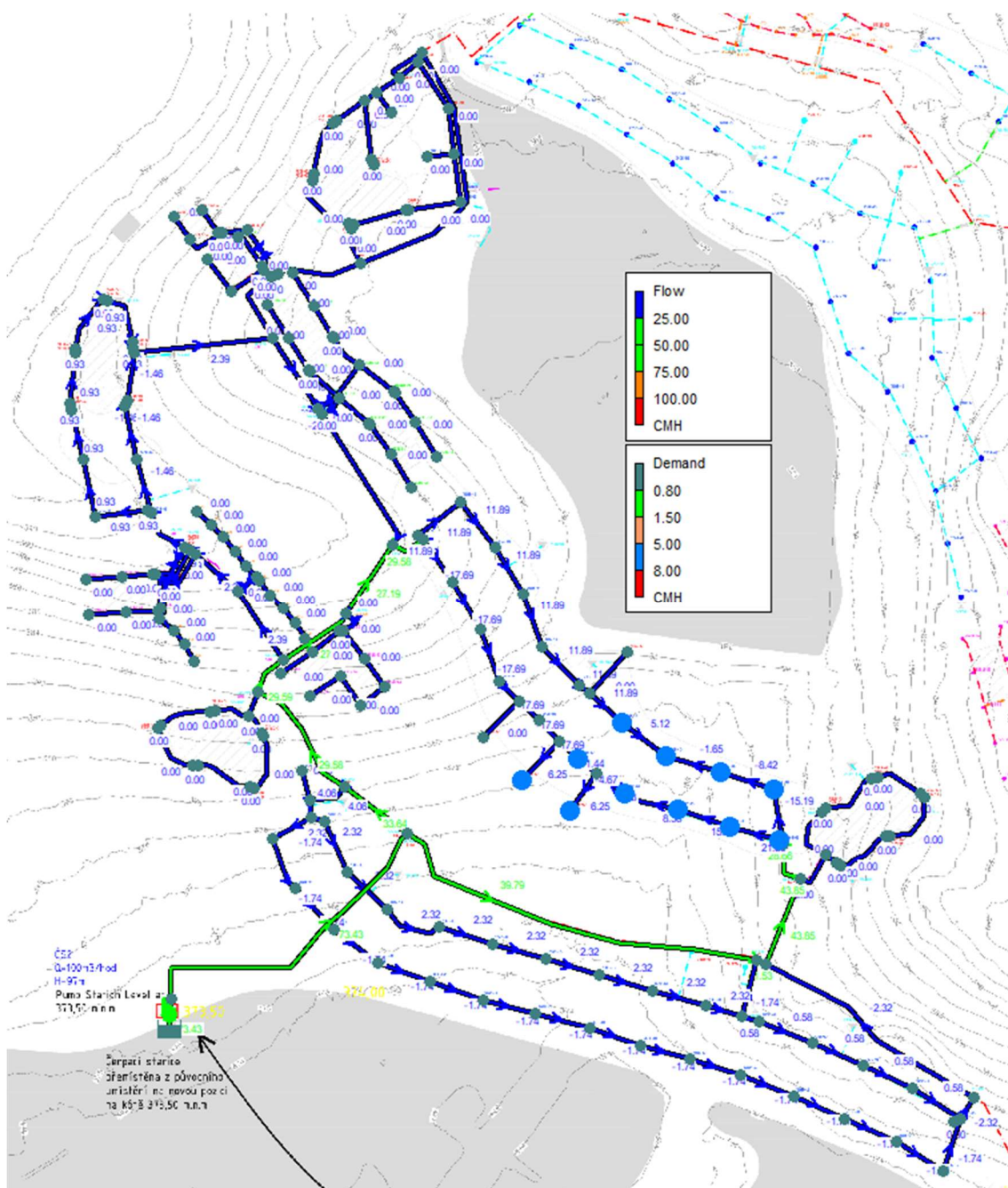
7.1. Golfové hřiště Kestřany

Na modelu závlahového systému **golfového hřiště** byly při simulacích v postupných jednohodinových krocích pozorovány průtokové, tlakové a odběrové vlastnosti systému pro navržené sekce. Díky uzpůsobení reprezentativní plochy a rozdělení postřikovačů do poněkud menších sekcí nebyly na systému pozorovány nějaké fatální nedostatky.

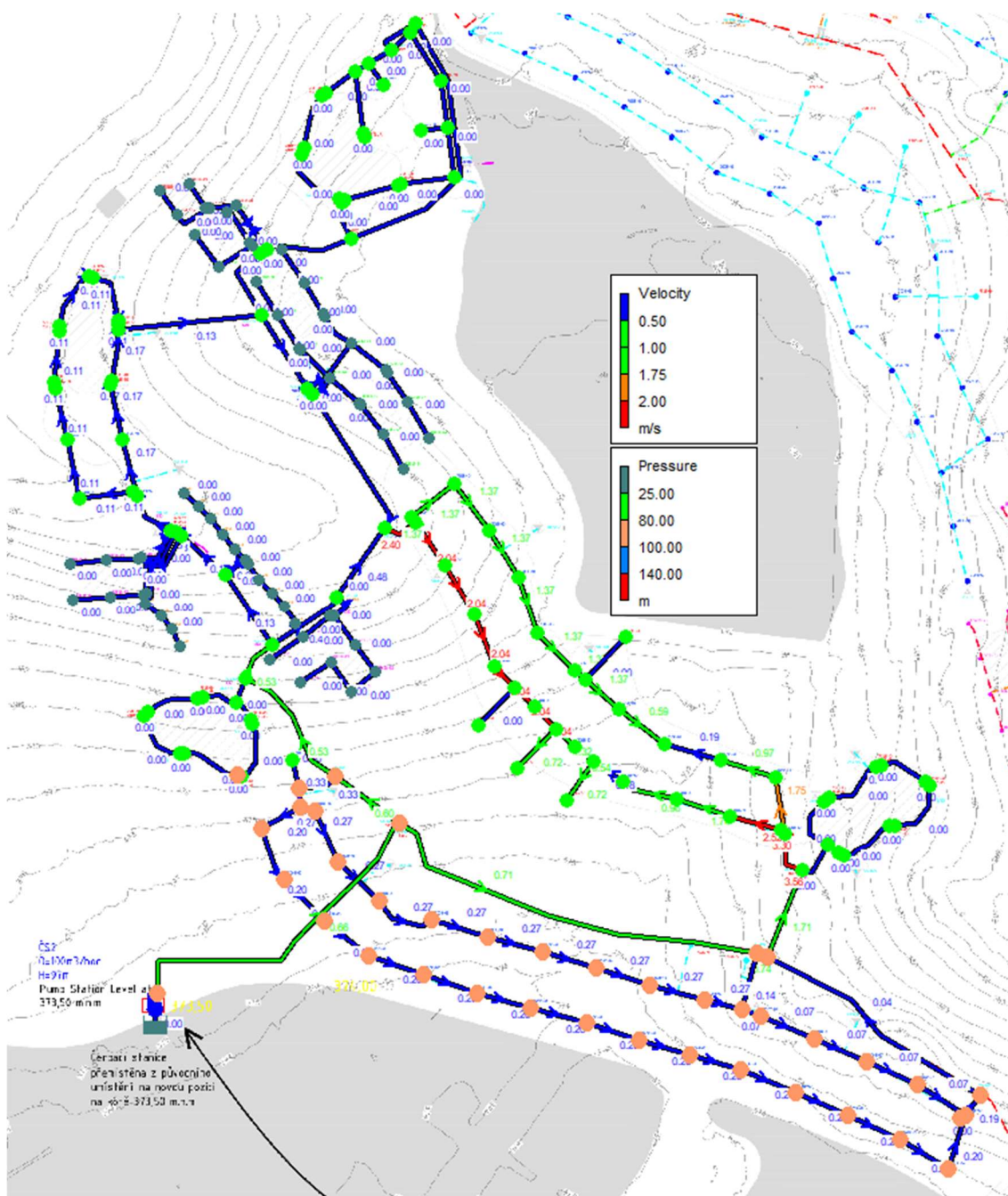
Jako reprezentativní příklad při pokusu o naplnění kapacity čerpací stanice byla zvolena větší sekce spuštěná v čase 04:00 na jedné z fairwayí, jejíž odběr vody je $Q = 73,43 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Bylo zjištěno, že průtočná kapacita hlavních řadů dimenze DN 225 a DN 160 je naprosto dostačující a v prvním bodě napojení od čerpací stanice do plochy se průtok pravidelně dělí oběma směry proudění, což je znázorněno pomocí Obr. 48.

Za těchto podmínek je tlak v celém modelovaném systému v požadovaném rozmezí od 2,5 – 10 bar, tedy v hodnotách pracovního tlaku všech navržených postřikovačů. Díky menší kapacitě rozvodného potrubí však dochází při přepravě vody k zavlažované části hrací plochy k velkým rychlostem, kde v jihovýchodní části fairwaye dosahuje $v_{\max} = 3,56 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a v jihozápadní části potrubí $v = 2,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, viz Obr. 49.

Tyto rychlosti mohou vést k poruchám jak na potrubní samotném, jeho spojích, tak u napojení postřikovačů. Vzniklý stav lze vyřešit zvětšením dimenze použitého potrubí. Tento způsob je však pouze řešení částečné.



Obr. 48: Zjiřtšené hodnoty odběrů v uzlech a průtoků v potrubí při celkovém $Q = 73,43 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$



Obr. 49: Hodnoty tlaků v uzlech a rychlosti proudění při celkovém $Q = 73,43 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$

Dle získaných výsledků vystává několik otázek týkajících se jak návrhu samotného, tak vyhotovení modelových podmínek na závlahovém systému. Jedním z důvodů příliš vysokých rychlostí v zásobovacích potrubích může být jeho nedostatečná kapacita, a tím chyba v návrhu. Systém byl navržen zkušeným projektantem a na základě konzultace a spuštění kontrolní simulace v softwaru Stratus II byl návrh schválen. Bohužel tato simulace neposkytuje předem určený scénář, dle kterého by bylo možné

model v programu EPANET nastavit, jelikož simulace v centrálním ovládacím systému závlahy pouze kontroluje, je-li systém v praxi provozuschopný a zda je možné zavlažit všechny hrací plochy dle předem určených pravidel.

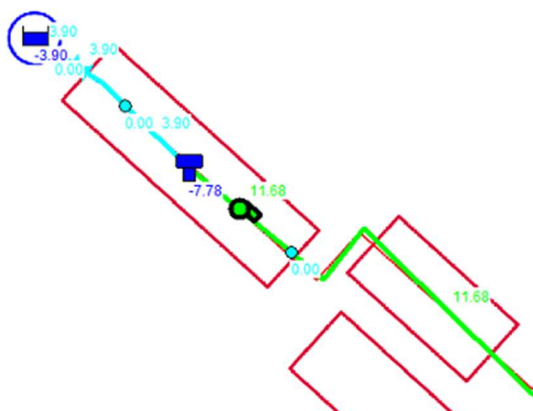
Pravděpodobnějším důvodem je tedy nevhodné zvolení sekcí dle pomyslně vytvořeného „závlahového stromu“, který v praxi vytváří zmíněný ovládací systém sám na základě informací týkajících se všech povolených kapacit jednotlivých trubních úseků a čerpací stanice. Pro mnou vytvořený model je třeba dalšího zkoumání ohledně rozdělení a spouštění jednotlivých částí systému včetně simulování jednotlivých časových řad pro které lze průtok rozdělit vhodnějším způsobem po kompletní ploše golfového hřiště.

7.2. Fotbalová hřiště Rakovník

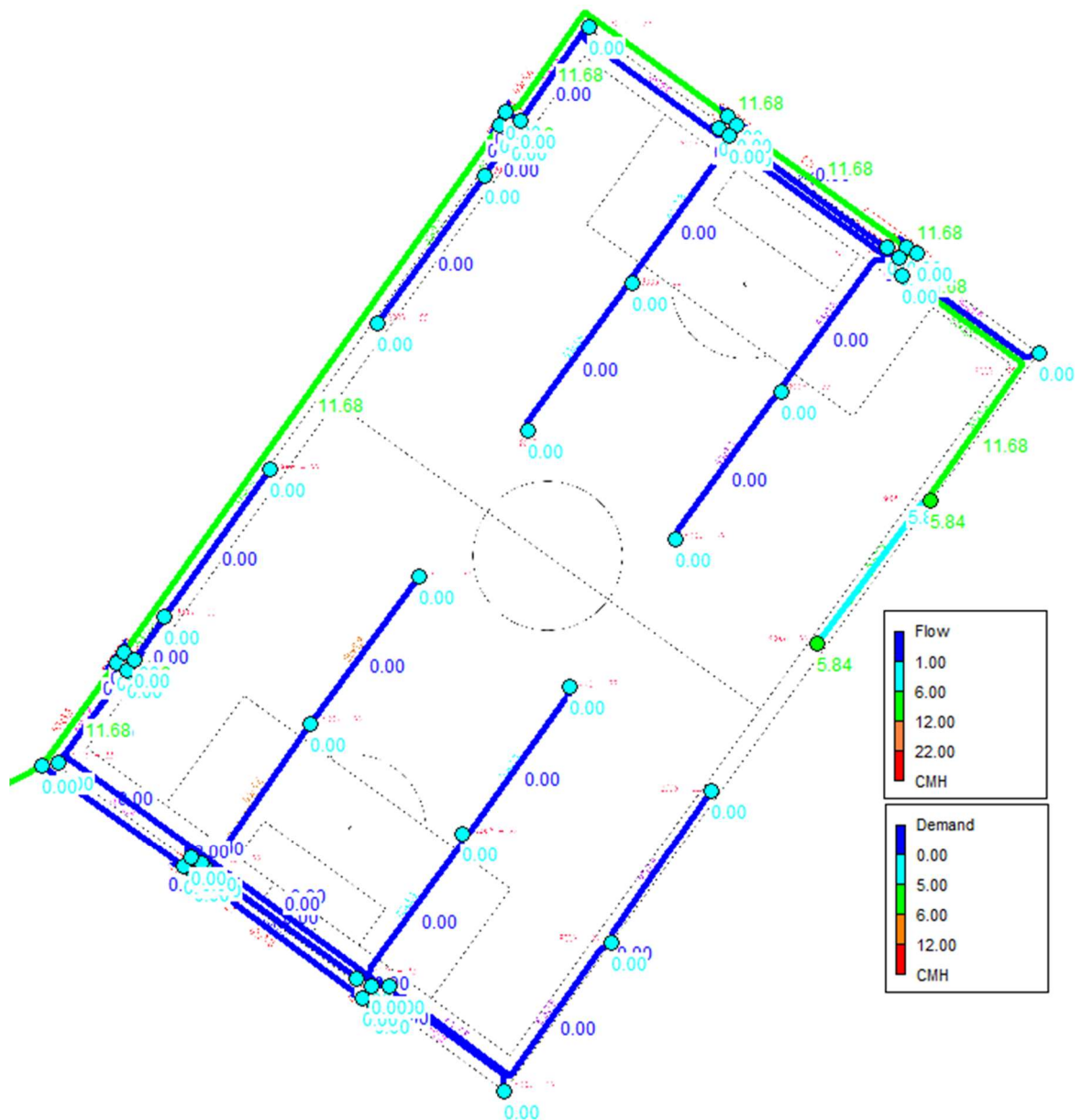
Model závlahového systému **fotbalového hřiště** byl posuzován pro stejné parametry jako výše uvedený model golfového hřiště s rozdílem, že se jedná o standardizovanou hrací plochu s pevně určenými velikostmi sekcí, od kterých se odvíjí celý návrh, především potom časové řady spínání a dimenze čerpadla. U zvolené plochy je zároveň posuzována kapacita stávající dopouštěné nádrže, sloužící jako zdroj vody.

Při práci s modelem byly postupně spuštěny všechny navržené sekce závlahového systému. Jako reprezentativní část modelu bylo zvoleno spuštění nejvzdálenější sekce, tedy otestování tzv. **kritické cesty**, čímž rozumíme nejvzdálenější úsek potrubí od zdroje vody. Jedná se o sekci se dvěma postřikovači s půlkruhovou výsečí, přičemž vzdálenost od zdroje je $L = 320$ m. Tato část systému je spuštěna v čase $t = 1:00 - 1:16$ h. Simulace jasně dokazuje, že navržené potrubí a kapacita čerpací stanice je dostačující.

Na následujících výřezech lze pozorovat jednotlivé průtoky a odběry ve zvoleném čase jak v systému, tak na čerpací stanic.



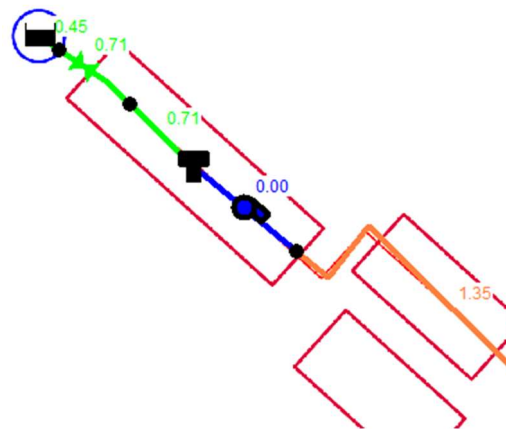
Obr. 50: Průtokové hodnoty na čerpací stanici a průtok při testování kritické cesty systému



Obr. 51: Hodnoty odběrů v uzlech a průtoků při testování kritické cesty systému

Dalším velice důležitým posouzením samotného návrhu je rychlost proudění. Dimenze trubní sítě byla zvolena na základě práce s hydraulickými tabulkami a potřeby tohoto systému je odpovídající. V jednotlivých částech potrubí se rychlost pohybuje v přípustných hodnotách, a to pro hlavní řad a začátek sekčního potrubí $v_1 = 1,35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pro konec sekčního potrubí $v_2 = 1,07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tyto hodnoty vypovídají o správnosti návrhu, přičemž lze říci, že trubní systém 63-63-50 je vhodný pro dodržení pravidel popsaných v [Kap.2.2.5](#).



Obr. 52: Rychlost proudění v potrubí v okolí akumulční nádrže při testování kritické cesty systému

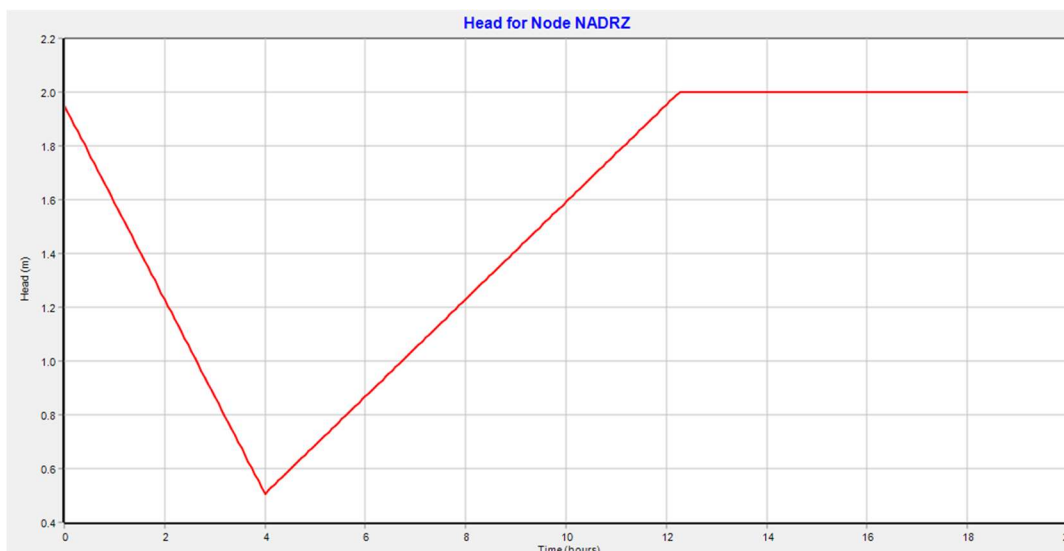


Obr. 53: Rychlosti v trubním systému při testování kritické cesty

Ke kompletnímu ověření správnosti návrhu je nutné také bližšího zkoumání kapacity vodního zdroje. Do modelu byla zanesena stávající akumulární nádrž o objemu $V_{\text{skut}} = 42 \text{ m}^3$, přičemž prostor stálého nadržení byl roven 0,5 m, tudíž skutečný manipulační objem $V_{\text{man}} = 31,3 \text{ m}^3$. Po spuštění simulace byl pozorován průběh hladiny v nádrži a následně získána tabulka, dle které lze říci, že stávající nádrž je dostačující především díky dopouštění, viz Tab. 6. Hodnoty *Damand* popisují celkový odběr z nádrže a sloupec *Head* hladinu vody v nádrži. Ačkoliv jsou spuštěny sekce o průtoku $Q_s = 11,68 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, musíme však ještě připočíst hodnotu dopouštění, čímž je celkový odběr v libovolném okamžiku závlahového cyklu $Q_c = 7,78 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Kompletní úroveň hladiny lze pozorovat grafu níže, viz Obr. 54.

Tab. 6: Hodnoty úrovně hladiny v nádrži na konci závlahového cyklu

Time Hours	Demand CMH	Head m
3:08	-7.89	0.83
3:12	-7.88	0.80
3:16	-7.77	0.78
3:20	-7.78	0.76
3:24	-7.78	0.73
3:28	-7.78	0.71
3:32	-7.78	0.68
3:36	-7.78	0.66
3:40	-7.78	0.63
3:44	-7.78	0.61
3:48	-7.78	0.59
3:52	-7.78	0.56
3:56	-7.78	0.54
4:00	3.90	0.51
4:04	3.90	0.53
4:08	3.90	0.54
4:12	3.90	0.55
4:16	3.90	0.56
4:20	3.90	0.57
4:24	3.90	0.59
4:28	3.90	0.60



Obr. 54: Graf průběhu hladiny nádrže během kompletního závlahového cyklu

Na Obr. 54 uvedený graf velice srozumitelně ukazuje, že kompletní závlahový cyklus trvá 4 hod a během následujících 8 hod dojde k dopuštění kompletního objemu jímky. Z tohoto grafu lze také vyvodit, že odběr z vrtu trvá 12 hod při povoleném průměrném odběru $Q = 1,1 \text{ l.s}^{-1} = 3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro vyhotovený návrh nebyly zjištěny nedostatky a následnou simulací průběhu závlahového cyklu byla potvrzena minimální kapacita akumulární nádrže o objemu $V_{\text{skut}} = 42 \text{ m}^3$ za použití ponorného čerpadla. Dle výsledků a následné simulace lze říci, že při použití sacího čerpadla, které by nepotřebovalo 0,5 m, ale pouze 0,2 m, prostoru stálého nadržení lze velikost jímky snížit až na $V_{\text{sací}} = 35 \text{ m}^3$, čímž by se při realizaci jímky samotné snížila cena tohoto objektu. Pro účely této práce byl však potvrzen dostačující objem stávající jímky.

V porovnání s modelem golfového hřiště bylo zjištěno, že použití programu EPANET je vhodné nejen pro zjištění jednotlivých hydraulických stavů v trubní síti, ale zároveň velice dobře slouží i pro zjištění procesů v akumulární nádrži či pro její samotné dimenzování.

Závlahový systém pro sportovní plochy, jakými jsou fotbalová, rugbyová, baseballová a další hřiště můžeme označit jako standardizovaný. Na rozdíl od složitého systému, jakým je závlaha golfového hřiště, zde není nutné zjišťovat a následně až simulovat jednotlivé stavy, které nejsou dopředu známy, přičemž musí být brány v úvahu kapacity potrubí i čerpací stanice, jelikož momentální odběry jsou na různých plochách vždy jinak velké.

8. Závěr

V rámci diplomové práce byly vytvořeny matematické modely pro navržené závlahové systémy vybraných sportovních ploch a následně zkoumána možnost využití programu EPANET 2.0 pro modelování závlahových systémů sportovišť.

V teoretické části práce byla provedena rešerše k problematice závlahových systémů, hydrauliky tlakového potrubí a modelů trubních sítí, přičemž byl přiblížen technický postup při návrhu automatického závlahového systému a následné možnosti softwarů pro vyhotovení matematických modelů trubních systémů.

Praktická část práce se zabývá popisem zvolených sportovních ploch, včetně technického řešení návrhu příslušných zavlažovacích systémů. Byly popsány technické postupy při návrhu zavlažovacího systému a výběr jednotlivých závlahových prvků, především potom ovládacích systémů, které jsou následně pomocí programu EPANET hodnoceny pro jeho další využití. Návrhy jednotlivých závlahových systémů sportovišť byly převedeny do matematického modelu a následně spouštěny v jednotlivých simulacích za účelem získání všech požadovaných veličin a scénářů. Pomocí vytvořených modelů byly zkoumány hydraulické podmínky v systému, využití vodního zdroje a případné možnosti řízení. V rámci vytváření jednotlivých matematických modelů byly diskutovány možnosti simulace jednotlivých prvků závlahových systémů a možnosti řízení celého systému dle skutečnosti.

Pro matematický model závlahového systému golfového hřiště v Kestřanech bylo třeba vytvoření závlahového stromu, kterým jsem se snažil napodobit fungování centrálního ovládacího systému, jenž řídí závlahové cykly na základě hydraulických výpočtů tak, aby byla plně využita jak kapacita navrženého trubního vedení, tak konkrétní čerpací stanice, čímž se při provozu minimalizují provozní náklady. Pro správné vymodelování řešeného území je třeba znát aktuální i nadcházející stav v systému. U vyhotovení modelu golfového hřiště není predikce pro vytvoření scénářů téměř možná, jelikož centrální ovládací systém bere v potaz nejaktuálnější vláhové potřeby v celé ploše a dle získaných dat následně vyhodnotí, jaké části systému budou spuštěny. Pomocí softwaru Stratus II lze zobrazit historii podmínek v systému, bohužel predikce, která by ulehčila sestavení modelu v programu EPANET 2.0 dostupná není.

Při mnou navržených spínaných zónách v jednotlivých simulacích nebylo docíleno plného využití hydraulické kapacity potrubí a čerpací stanice, čímž byly v daných chvílích překročeny například doporučené rychlosti v trubním vedení. Avšak všechny běžné provozní veličiny jako jsou tlaky, odběry v jednotlivých uzlech, průtok, rychlost či ztráty třením byly zcela jasně sledovatelné.

Výsledkem spuštěných simulací na závlahovém systému golfového hřiště je velice přehledné sledování jednotlivých veličin jako jsou tlaky v systému, postupné dělení průtoků v jednotlivých trubních vedeních či využití kapacity čerpací stanice. Bohužel pro delší provozní správu tak složitých systémů, jakými závlahové systémy golfových hřišť jsou, není program EPANET zcela vhodný. Hlavním problémem je nastavení spouštěných úseků v jednotlivých časových krocích především kvůli obrovské variabilitě, a ne pevně definovaným postupům při zálivce hracích ploch., které jsou při správném fungování centrálního ovládacího systému děleny nejen dle jednotlivých odběrů pro naplnění kapacit sítě a čerpací stanice, ale také dle závlahové potřeby daného místa s ohledem na informace z instalovaných meteorostanic a čidel.

Vyhotovení matematického modelu závlahového systému fotbalového hřiště v Rakovníku bylo provedeno dle pevně daných podmínek a pravidel samotného návrhu. Tvorba spouštěných sekcí se odvíjí od spínání elektromagnetických ventilů a díky pravidelnosti použitých komponentů na celé ploše lze průběh závlahy lépe modelovat v kterékoliv chvíli závlahového cyklu.

Primárně byly ověřeny hydraulické podmínky celého systému a kapacita stávající nádrže, přičemž byly opět pozorovány jednotlivé veličiny na jejichž základě byl návrh po hydraulické stránce odsouhlasen jako funkční. Objem nádrže jsem po provedených simulacích mohl o 7 m³ zmenšit, aniž by došlo k narušení funkce systému, což bylo ověřeno pomocí modelu v dalších simulacích.

Díky rovnoměrně velkým sekcím spouštěným v přesném časovém pořadí lze pomocí programu EPANET jednoduše řídit a sledovat funkce celého závlahového systému během celého závlahového cyklu, a to včetně podmínek v nádrži, díky čemuž je možné simulovat různé stavy provozu.

Využití programu EPANET 2.0 pro modelování závlahových systémů lze rozdělit na využití pro standardizované plochy a plochy složitější, kde se vyskytuje velké množství proměnných. Je zcela jasné, že pro modelování složitých systémů ovládaných

centrálním ovládacím systémem jako je například golfové hřiště lze program EPANET využít pouze v omezené míře, jelikož spínané plochy a závlahové procesy nejsou, díky řídicímu softwaru, u těchto systémů pevně definovány a modelování závlahových scénářů je spíše odhadem. I přesto lze u těchto systémů zjišťovat základní hydraulické podmínky nebo pomocí nejrůznějších simulací dimenzovat či jinak upravovat určité prvky závlahového systému, jako například čerpací stanice či vodní zdroj. Na rozdíl od toho pro menší – standardizované plochy jako jsou např. fotbalová, rugbyová hřiště a antukové kurty, které mají většinou stejné rozměry, a požadavek na odběr vody se liší pouze minimálně, je použití programu EPANET a modelování požadovaných scénářů naprosto vhodné. Díky vytvoření jednoho či několika typových modelů pro každou standardizovanou sportovní plochu lze během několika minut získat velice dobré informace, jak o hydraulických podmínkách při provozu závlahového systému, tak o kapacitě vodního zdroje či potřebě jeho úpravy.

Na základě získaných výsledků použití programu EPANET 2.0 pro standardizované plochy doporučuji. U těchto systémů lze pevně stanovit plánované odběry a jejich postupné spínání, přičemž lze velice jednoduše simulovat celkové chování systému a získávat potřebné hydraulické a provozní údaje. Pro systémy řízené pomocí centrálních ovládacích systémů, jako byl např. zmíněný Stratus II, vykazující prediktivní řízení pomocí dat získávaných v reálném čase z čidel rozmístěných po celé ploše, lze pomocí programu EPANET 2.0 zjišťovat základní hydraulické veličiny a průtokové podmínky. Pro běžnou práci a získávání dat z těchto složitých systémů však není program EPANET 2.0 zcela vhodný.

9. Použitá literatura a zdroje

1. KOCHÁNEK, Karel. *Hydromeliorační stavby 20: Závlahové stavby*. Praha : ČVUT, 2001. 80-01-02369-9.
2. ČSN 75 0434. *Meliorace. Potřeba vody pro doplňkovou závlahu*. Praha : ÚNMZ, 1994. MDT 631.67.
3. VEJSADA, Jakub. Chytré automatické zavlažovací systémy v municipální sféře. *PRO města a obce*. 9 2020, 6.
4. KRÁLOVÁ, Helena. *Vodní hospodářství krajiny 1: část II - závlahy*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2005.
5. BRAŤKOVÁ, Nad'a. Školení realizačních firem ITTEC. *Návrh AZS*. Průhonice : autor neznámý, 2019.
6. ČSN 75 7143. *Jakost vod. Jakost vody pro závlahu*. Praha : ÚNMZ, 1992.
7. STRÁNSKÝ, David, a další. TNV 75 9011. *Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha : autor neznámý, 2013.
8. a.s., HYDROPROJEKT CZ, ŠPALEK, Petr a Josef, SOBOTA. ČSN 75 6261. *Dešťové nádrže*. Praha : autor neznámý, 2004.
9. WATKINS, J.A., JOHNSON, H.G. a CHAOTE, R.B. *Turf Irrigation Manual: The Complete Guide to Turf and Landscape Sprinkler Systems*. Dallas : Telsco Industries. 74-31280.
10. ITTEC. *Návrh automatického závlahového systému*. [Online] ITTEC s.r.o. [Citace: 15. listopad 2020.] https://www.ittec.cz/cs/site/zavlazovaci_systemy/o_zavlazovacich_systemech/o_azs_na_vrh.htm.
11. BRAŤKOVÁ, Nad'a a VEJSADA, Jakub. Nejmodernější závlahová technologie: K vidění v Brně... vlastně "nevidění". *Inspirace: Časopis Svazu zakládání a údržby zeleně*. 2020, 3.
12. KOLÁŘ, V., PATOČKA, C. a BÉM, J. *Hydraulika*. Praha : STNL, 1983. L17-C3-V-41/78 115.

13. HAVLÍK, Aleš a Tomáš, PICEK. 141HYA2. *Hydraulika 2*.
14. BRADA, Karel a HAVLÍNEK, Petr. *Čerpadla ve vodním hospodářství*. Brno : NOEL 2000, 2004. 80-86020-43-6.
15. MELICHAR, J. *Úvod do čerpací techniky*. Praha : ČVUT, 2012. 978-80-01-05056-9.
16. NOSKIEVIČ, Jaromír a kolektiv. *Mechanika tekutin*. Praha : SNTL, 1987. 04-233-87.
17. KABELKOVÁ, Ivana. *Základy matematického modelování a simulování. Vodní hospodářství obcí 4*.
18. BUCEK, Lubomír. AutoPEN. [Online] [Citace: 12. prosinec 2020.] <https://www.autopen.cz/>.
19. CADSTUDIO. *AutoPEN - inženýrské sítě*. [Online] [Citace: 12. prosinec 2020.] <https://www.cadstudio.cz/prod/autopen.asp>.
20. U.S. Environmental Protection Agency. *EPANET*. [Online] [Citace: 12. prosinec 2020.] <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.
21. MIKE Powered by DHI. *MIKE+*. [Online] [Citace: 13. prosinec 2020.] https://www.mikepoweredbydhi.com/?_ga=2.267901834.541604708.1608064206-293427100.1608064206https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/water-distribution.
22. AQUION. *SiteFlow*. [Online] [Citace: 13. prosinec 2020.] <https://www.aquion.cz/software/siteflow>.
23. GOLF RESORT PÍSEK. *O resortu*. [Online] [Citace: 15. prosinec 2020.] <http://golfresortpisek.cz/>.
24. ITTEC. *Centrální ovládací systém STRATUS II*. [Online] [Citace: 17. prosinec 2020.] https://www.ittec.cz/cs/site/zavlazovaci_systemy/golfova-hriste/centralni-ovladaci-systemy/centralni-ovlstratusII.htm.
25. RAIN BIRD. *Support for Stratus II*. [Online] [Citace: 17. prosinec 2020.] <https://www.rainbird.com/products/stratustm-ii/support>.

26. RAIN BIRD. *Products*. [Online] [Citace: 18. prosinec 2020.] <https://www.rainbird.com/products/>.
27. Plantex. *Ako chránime našu úrodu pred jarným mrazom*. [Online] [Citace: 1. Leden 2020.] <https://www.plantex.sk/>.
28. TECNOCOOLING. *Mist Cooling Applications*. [Online] [Citace: 2. listopad 2020.] http://www.tecnocooling.com/_en/app_mcooling.html.
29. Wikipedia Commons. *Rise field*. [Online] [Citace: 2. listopad 2020.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rise_field,_Ubud,_Bali_2.jpg.
30. TNV 75 4307. *Závlahová zařízení podrobná pro postřik*. 2018.
31. U. S. Geological Survey. *Science Explorer*. [Online] [Citace: 4. listopad 2020.] <https://www.usgs.gov/media/images/center-pivot-irrigation-system-arizona-usa>.
32. Rainbird.cz. *Závlahy tramvajových pásů*. [Online] [Citace: 9. listopad 2020.] <http://www.rainbird.cz/zavlahy-tramvajovych-pasu.php>.
33. pm trávníky. *Závlahové systémy pro fotbalová hřiště*. [Online] [Citace: 15. listopad 2020.] <https://www.pm-travniky.cz/zavlahove-systemy-fotbalova-hriste/>.
34. Česká televize. *Rande s fyzikou*. [Online] [Citace: 20. listopad 2020.] <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10319921345-rande-s-fyzikou/5807-jak-je-to-s-proudenim-kapalin-nebo-radeji-tekutin/>.
35. BLEJCHAŘ, Tomáš a DRÁBKOVÁ, Sylva. *Čerpací technika a potrubí. Návodý do cvičení*. Ostava : VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2010. 978-80-248-2205-1.
36. eshop ITTEC. *Závlazovací systémy*. [Online] [Citace: 5. prosinec 2020.] <https://eshop.ittec.cz/zavlazovaci-systemy/>.

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Rozdíl zavlažované a nezavlažované plochy	11
Obr. 2: Protimrazová ochrana pomocí postřiku.....	13
Obr. 3: Využití klimatizační závlahy	14
Obr. 4: Ozdravovací závlaha - fotbalový stadion St. Gallen	15
Obr. 5: Poškození trávníku plísní - fotbalový stadion St. Gallen	15
Obr. 6: Schéma závlahy podmokem	17
Obr. 7: Závlaha výtopou na rýžovém poli	18
Obr. 8: Schéma pásového zavlažovače.....	19
Obr. 9: Pivotový zavlažovač.....	20
Obr. 10: Závlaha tramvajového pásu v Praze	21
Obr. 11: Zálhava golfového hřiště - Golf Konopiště.....	23
Obr. 12: Realizace závlahového systému - Praha, Sinobo Stadium, SK Slavia Praha...	24
Obr. 13: Klimatizační závlaha - dostihový areál Chuchle	25
Obr. 14: Úderový postřikovač RainGun - fotbalové hřiště Heřmanice	29
Obr. 15: Rozprašovací postřikovače.....	29
Obr. 16: Rotační postřikovač - fotbalový stadion Generali Arena, AC Sparta Praha	30
Obr. 17: Typy sponů postřikovačů	31
Obr. 18: Srážková výška při správném rozmístění postřikovačů	31
Obr. 19: Srážková výška při chybném rozmístění postřikovačů.....	32
Obr. 20: Zazimování závlahového systému - Golf Casa Serena	33
Obr. 21: Odvození rovnice kontinuity	36
Obr. 22: Moodyho diagram	38
Obr. 23: Odvození místní ztráty zúžením	39
Obr. 24: Sériové zapojení dvou čerpadel.....	40
Obr. 25: Paralelní zapojení dvou čerpadel.....	41
Obr.26: Pracovní bod čerpadla	41
Obr. 27: Q- η křivka čerpadla	42
Obr. 28: Dělení závlahového systému v softwaru Stratus II	51
Obr. 29: Komunikační dekodéry	53
Obr. 30: Ovládací jednotka ESP-LXD	53
Obr. 31: Rain Bird 550 series Rotors.....	54
Obr. 32: Elektromagnetický ventil 150-PEB.....	55

Obr. 33: Rain Bird 751 Series Rotors	55
Obr. 34: Modelové rozdělení hrací plochy pro návrz automatického závlahového systému	58
Obr. 35: Elektromagnetický ventil 150-PGA	59
Obr. 36: Rotační postřikovač 8005 FC/PC	60
Obr. 37: Ovládací jednotka ESP-ME3.....	61
Obr. 38: Zadání Q-H křivky čerpací stanice v programu EPANET 2.0.....	64
Obr. 39: Místní ztráty elektromagnetického ventilu 150-PEB	65
Obr. 40: Nastavení ventilu v programu EPANET 2.0	65
Obr. 41: Schéma modelu zájmové oblasti - Golf Kestřany	66
Obr. 42: Nastavení spínání PRV ventilů pomocí "Simple Controls Editoru"	67
Obr. 43: Nastavení dopouštění nádrže pomocí "Simple Controls Editoru"	68
Obr. 44: Nastavení FCV ventilu při dopuštění nádrže.....	68
Obr. 45: Charakteristika navrženého čerpadla STAIRS SP 7018	69
Obr. 46: Schéma vodního zdroje v programu EPANET 2.0	69
Obr. 47: Schéma modelu fotbalového hřiště Rakovník v programu EPANET 2.0.....	70
Obr. 48: Zjištěné hodnoty odběrů v uzlech a průtoku v potrubí při celkovém $Q = 73,43 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	72
Obr. 49: Hodnoty tlaků v uzlech a rychlosti proudění při celkovém $Q = 73,43 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$	73
Obr. 50: Hodnoty odběrů na čerpací stanice a průtok při testování kritické cesty systému	74
Obr. 51: Hodnoty odběrů v uzlech a průtok při testování kritické cesty systému.....	75
Obr. 52: Rychlosti v trubním systému při testování kritické cesty.....	76
Obr. 53: Rychlost prodoučení v okolí čerpací stanice při testování kritické cesty systému	76
Obr. 54: Graf průběhu hladinyv nádrži během kompletního závlahového cyklu.....	78

11. Seznam tabulek

Tab. 1: Potřeba vody pro doplňkovou závlahu (2)	12
Tab. 2: Spotřeba vody pro 18-ti jamkové hřiště (4).....	22
Tab. 3: Hodnoty součinitele místní ztráty Z_m pro náhlé zúžení (13).....	39
Tab. 4: Výpočet rychlostí a ztrát třením v tlakovém potrubí.....	49
Tab. 5: Dimenze potrubí dle navrženého závlahového systému	64
Tab. 6: Hodnoty úrovně hladiny v nádrži na konci závlahového cyklu	77

12. Seznam příloh

Příloha č. 1	ŘEŠENÁ ČÁST PROJEKTU GOLF – KESTŘANY
Příloha č. 2	NÁVRH ČERPACÍ STANICE – GOLFOVÉ HŘIŠTĚ KESTRANY
Příloha č. 3	NAPOJENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU
Příloha č. 4	NAPOJENÍ POSTŘIKOVAČE
Příloha č. 5	VZOROVÉ ZAPOJENÍ ČERPACÍ STANICE
Příloha č. 6	NÁVRH ČERPACÍ STANICE – FOTBALOVÉ HŘIŠTĚ
Příloha č. 7	VÝKAZ VÝMĚR – FOTBALOVÉ HŘIŠTĚ RAKOVNÍK

13. Seznam výkresů

Výkres č. 1	NÁVRH AZS - SITUACE
-------------	---------------------