


PROJEKTANT :		PROJEKT IV - hydroIT s.r.o.			
		ATELIÉR: PRAHA 9 – VYSOČANY, BASSOVA 98/8, 190 00, TEL.: 222584265, 222591383			
ZODP. PROJEKTANT	VYPRACOVAL	KONTROLOVAL	HLAVNÍ INŽENÝR PROJEKTU :		
ING. JAKUB JIRÁK	ING. JAKUB JIRÁK	ING. JAROSLAV KNOTEK	Ing. JAKUB JIRÁK		
MÍSTO STAVBY: Přezletice					
OBJEDNATEL: Obecní úřad Přezletice, Veleňská 48, Přezletice, p. Jenštejn 250 73					
STAVBA: VODOVOD PŘEZLETICE koncepční studie			STUPEŇ PD	studie	
			ČÍSLO ZAKÁZKY	108/13	
			DATUM DOKONČENÍ	X/2013	
			MĚŘÍTKO		
VÝKRES :			ČÍSLO PŘÍLOHY	A	
Textová část					

OBSAH:

1	Identifikační údaje.....	3
2	Úvod.....	5
3	Charakteristika řešeného území.....	5
4	Metodika řešení.....	8
4.1	Rešerše dostupných podkladů.....	8
4.2	Stručný popis stávající vodovodní sítě.....	9
4.3	Rozbor spotřeby vody.....	9
4.4	Realizace měrné kampaně.....	12
4.5	Sestavení matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě.....	14
4.6	Kalibrace matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě.....	15
4.7	Teoretický model výhledového stavu.....	17
5	Zjištění průzkumu stávajícího stavu distribuční sítě.....	18
6	Výsledné hodnoty provedených výpočtů.....	19
6.1	Teoretický model stávajícího stavu.....	19
6.2	Teoretický model výhledového stavu.....	19
7	Diskuse.....	20
8	Závěr.....	21
9	Použité podklady a literatura.....	22
10	Přílohy.....	23
10.1	Teoretické hydrogramy denní potřeby vody.....	23
10.2	Podrobné vykreslení výsledků měrné kampaně.....	26
10.3	Kalibrační a verifikační simulace.....	31
10.4	Výsledné hodnoty teoretického posouzení stávajícího stavu.....	37
10.5	Výsledné hodnoty teoretického posouzení výhledového stavu.....	40

1 Identifikační údaje

Zadání:	Přezletice – studie zásobování vodou
Objednatel studie:	Obecní úřad Přezletice Veleňská 48, Přezletice, p. Jenštejn 250 73 Statutární zástupce: starosta Ing. Veronika Vrecionová IČ: 00240656 CZ00240656
Zpracovatel studie:	PROJEKT IV – hydroIT s.r.o. Bassova 98/8, Praha 9, 190 00 Bank. Spojení: 212018173/0600 IČ: 01976966
Hlavní řešitel:	Ing. Jakub Jirák autorizovaný inženýr v oboru vodohospodářských staveb číslo autorizace 0010690 tel: 608 567 623
Odvětví:	Vodní hospodářství Technická vybavenost – zásobování pitnou vodou

2 Úvod

V obci Přebetice bylo provedeno posouzení funkce stávající distribuční sítě pitné vody v rozsahu mezi předávacím bodem Klenovská, dále jen PB, a koncovým odběrným místem. Zpracování studie bylo provedeno v několika vzájemně navazujících krocích. V prvním kroku byly provedeny rozbor historických údajů o spotřebě vody v obci. K dispozici byla časová řada přítoku do spotřebišť měřená v PB a kvartální údaje o spotřebě vody v jednotlivých odběrných místech. Rozbor časové řady přítoku do obce Přebetice byl zaměřen na stanovení pravděpodobných hodnot denní potřeby vody a denních extrémů odběru vody. Sledovány byly především vlivy sezónnosti a rozdíly mezi pracovním dnem a dnem pracovního klidu. Výsledné hodnoty rozboru byly použity pro zatížení matematického modelu distribuční sítě a stanovení vývoje spotřeby pitné vody, vzhledem k budoucímu stavebnímu rozvoji sídla. Rozbor kvartálních spotřeb vody v jednotlivých odběrných místech poskytl informaci o rozložení odběrů na síti. V druhém kroku byla provedena devítidenní měrná kampaň zaměřená na sledování okamžitých tlaků na distribuční síti a v PB, spolu s časově synchronizovaným sledováním okamžitých přítoků do spotřebišť. Časové řady získané měrnou kampaní byly využity pro kalibraci matematického modelu distribuční sítě. Využitím kalibrovaného modelu stávající distribuční sítě, spolu s odhadem budoucího vývoje potřeby pitné vody v sídle byly stanoveny pravděpodobné tlakové poměry v odběrných místech při průměrných a extrémních odběrech. Z provedených výpočtů vyplývá, že vodovodní síť Přebetice bezpečně pokryje výhledové požadavky pitné vody při stavebním rozvoji odpovídajícím současnému územnímu plánu.

3 Charakteristika řešeného území

Obec Přebetice se nachází u severovýchodního okraje hlavního města Praha, v těsné blízkosti místní části Praha Vnoř. Správním centrem obce je Brandýs nad Labem – Stará Boleslav.

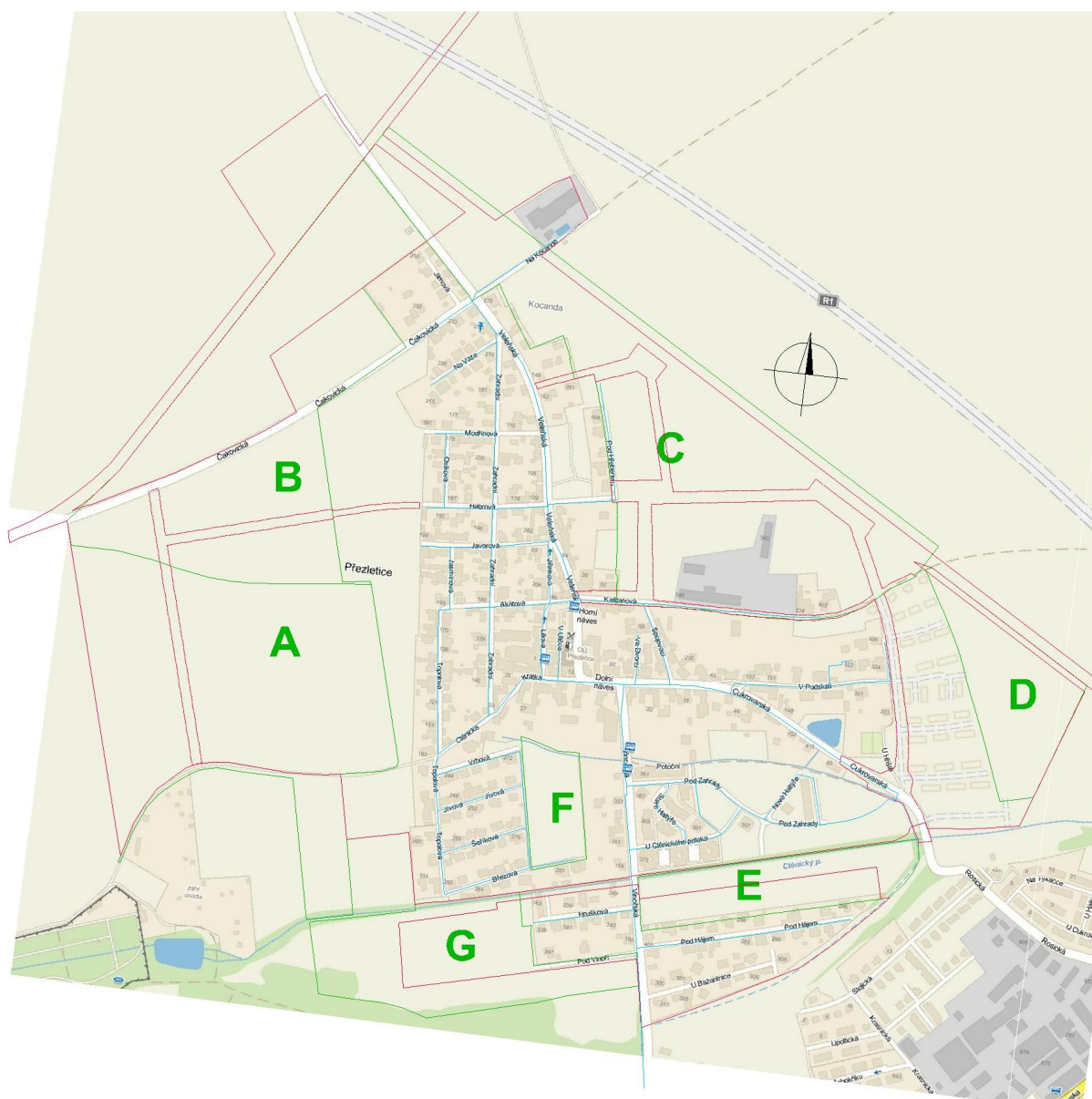
Zastavenost území a předpokládaný rozvoj

Zástavba obce je poměrně souvislá s výjimkou výstavby rodinných domů, dále jen RD, realizovanou v nedávné minulosti v okolí Vnořské ulice na příjezdu od Prahy před Ctěnickým potokem. Typově je možné zástavbu obce rozdělit na původní zástavbu zemědělských usedlostí a domkářských obydlí, zástavbu rodinných domů, dále jen RD, vznikající v průběhu celého minulého století až do současnosti a moderní výstavbu bytových domů, dále jen BD.

Zástavba zemědělských usedlostí je tvořena převážně přízemními až jednopodlažními domy a doprovodnými zemědělskými budovami, dnes využívanými především pro bydlení resp. pro malovýrobu a služby. Situována je na jižní, dolní, straně Dolní Návsi, na obou stranách částečně přesahuje do ulic Krátká a Cukrovarská. Zástavbu převážně domkářských stavení, tvořících historické jádro Přebetic, lze z jihu přibližně ohraničit severní, horní, stranou Dolní Návsi, opět s prodloužením do ulice Krátké, na druhé straně částečně do ulice V Podskalí. Shora, na severu, je ohraničena ulicí Kaštanovou. Východní okraj odpovídá ulici Spojovací, západní Liliové ulici. Výjimkou je ulice Vnořská, v úseku mezi Dolní Návsi a Kaštanovou, jejíž východní strana je tvořena obvodovou zdí zemědělské usedlosti včetně doprovodných budov, východní stranu pak tvoří jednopodlažní budova obecního úřadu a kulturního centra, spojená s budovami obchodu a restaurace.

V bezprostřední blízkosti jádra obce, ulice Zahradní, byla v minulosti zahájena výstavba 9 řadových RD, která ovšem doposud nebyla dokončena. V budoucnu je ovšem možné předpokládat dokončení a předání do užívání.

Zástavba RD je tvořena převážně jednopodlažními budovami. Polohově je rozmístěna v okolí historického jádra obce po celé zastavěné ploše obce. Přestože zástavba RD je poměrně celistvá, v nedávné zástavbě RD na jižním okraji obce se stále vyskytují doposud zemědělsky využívané proluky, jejichž zástavbu ovšem předpokládá platný územní plán.



Obr. 1: Mapa stávající zástavby se schématickým vyznačením distribuční sítě (modře), hranice lokalit výhledové výstavby (zeleně) a konceptu základní komunikační sítě (červeně), dle ÚP.

Doposud jedinou výjimkou v převládající zástavbě RD je realizace bytových domů východně od Vnořské ulice mezi Ctěnickým a Vrbovým potokem¹. Zde bylo v nedávné minulosti vedle řadových domů realizováno 10 bytových domů a v blízké budoucnosti bude provedeno dalších 9 domů, spolu s výstavbou objektů občanské vybavenosti. Realizované bytové domy mají maximálně tři obytná nadzemní podlaží.

Výhledová zástavba, s přímou vazbou na řešenou studii, je jednoznačně určena územním plánem [1], dále jen ÚP. Vedle dostavby bytových domů východně od Vnořské ulice mezi Ctěnickým a Vrbovým potokem ÚP předpokládá zastavění stávajících proluk mezi nedávno realizovanými RD. Dle značení ÚP lokalita E východně od Vnořské ulice na jižním břehu Ctěnického potoka cca 26 RD, lokalita F západně od Vnořské ulice na jižním břehu Vrbového potoka cca 25 RD a lokalita G západně od Vnořské ulice jižně od Ctěnického potoka.

¹ Investor: Benuga s.r.o., Praha 3- Žižkov, Baranova 1485/20

Na východním okraji Přezletic v současné době probíhá realizace 70 RD², na severu ohraničená stávající zástavbou severního okraje ulice V Podskalí z jihu křížením ulic Cukrovarská a U Hřiště. V blízké budoucnosti bude realizována navazující etapa v níž bude zástavba rozšířena na sever, po ulici Kaštanovou o cca dalších 18 RD. Z jihu na probíhající výstavbu 70 RD navazuje výstavba 22 RD v lokalitě Nohavice³, těsně navazující na Ctěnický potok. Dle značení ÚP se v obou případech jedná o lokalitu D, kde je oproti zmíněné probíhající výstavbě ÚP předpokládáno navýšení o 71 % což představuje dalších cca 78 RD.

Na východním okraji obce ve volném, doposud zemědělsky využívaném, území mezi ulicemi VINOŘSKÁ a KAŠTANOVÁ, dle ÚP lokalita C, je předpokládán přírůstek cca 700 osob, což při obložnosti 4 os/BJ⁴ představuje cca 175 RD.

Nejvýznamnější rozvoj Přezletic ÚP předpokládá na západním okraji stávajícího zastavěného území, s částečným přesahem nad severní okraj stávající zástavby. Dle ÚP se na jihu jedná o lokalitu A cca pro cca 1000 os, resp. 250 RD, a lokalitu B pro cca 500 os, resp. 125 RD.

Dopravní obslužnost

Hlavní komunikační tepnou obce je státní silnice III/2444 propojující Přezletice s Prahou VINOŘI a sousední obcí VELEŇ. Trasu státní silnice obcí výstižně charakterizují i místní názvy ulic VINOŘSKÁ a VELEŇSKÁ, částečně se trasa kryje i s Dolní Návsi. Státní silnice III/0105a, na území Přezletic odpovídající ulici CUKROVARSKÉ, je druhou možností příjezdu, tentokrát z východní části, Prahy VINOŘE. Komunikace se v obci setkávají na Dolní Návsi. Do třetice je obec na severu propojena státní silnicí III/0102 s Prahou KBELY a ČAKOVICEMI, odsud i jméno ulice ČAKOVICKÁ. Silnice III/0102 navazuje na silnici III/2444 v křížení ulic ČAKOVICKÁ, VELEŇSKÁ a NA KOCANDĚ.

V sousedství obce je plánována trasa severní části silničního okruhu kolem Prahy, dále jen SOKP, stavba 509. Největší přiblížení stavby k intravilánu obce je navrženo na severním okraji obce v lokalitě KOCANDA. Komunikační napojení Přezletic na Pražský okruh je plánováno v křížení SOKP a Mladoboleslavské ulice ve VINOŘI, čímž vzroste dopravní význam CUKROVARSKÉ ulice.

Hromadná doprava osob je zajišťována linkou PID č. 302 propojující Přezletice s Pražskými čtvrtěmi KBELY, LETŇANY, PROSEKEM a PALMOVKOU.

Ve výhledu je plánována realizace tramvajové dráhy propojující Prahu s Brandýsem nad Labem – Starou Boleslaví. Navržená trasa tramvajové dráhy, včetně návrhu umístění zastávky, vymezuje severovýchodní okraj plánovaného stavebního rozvoje v lokalitách C a D, viz předchozí část.

Občanská vybavenost

Centrem obce je budova obecního úřadu ve Veleňské ulici, kde se nachází místní kulturní centrum. V těsné blízkosti OÚ je obchod s potravinami a základním drogistickým zbožím a dále restaurace. Druhá restaurace, kde jsou taktéž občasně pořádány kulturní akce, především koncerty, je nedaleko v křížení ulic Veleňská a Kaštanová. V obci je dále mateřská škola, jejíž provoz byl v nové budově zahájen v průběhu měrné kampaně.

V návrhu ÚP je v blízkosti hranice rozvojových lokalit A a B navržena základní škola, jejíž realizace je podmínkou bytové výstavby v lokalitách. S prostorem pro realizaci objektů využitelných pro občanskou vybavenost, především pro maloobchod a služby, je počítáno v návrhu zastavovacího plánu rozvojové lokality mezi Ctěnickým a Vrbovým potokem, ulice Pod Zahrady a u Ctěnického potoka.

² Investor: Moravská stavební - INVEST, a.s., Pobřežní 12, Praha 8

³ Investor: Stavo Real Energy, s.r.o., Vídeňská 619, Praha 4

⁴ Hodnota byla doporučena zpracovatelem ÚP Ing. arch. Petr Starčevičem, www.kolpron.cz

Podnikatelské aktivity

Dle informačního portálu obce Přezletice⁵ je v obci přítomno 22 firem, zaměřených především na poskytování služeb, resp. montážních a stavebních prací. Z hlediska odběru pitné vody se nejedná o významné objekty. Za nejvýznamnější odběratele pitné vody lze označit restaurační zařízení.

Technická vybavenost

Ze sítě technické vybavenosti je v obci přítomen rozvod NN a sdělovacích kabelů, tlaková splašková kanalizace odvádějící splašky na čistírnou odpadních vod Vinoř, dále jen ČOV, STL plynovod a veřejný vodovod, distribuující pitnou vodu k jednotlivým připojeným nemovitostem.

4 Metodika řešení

Postup prací spojených s realizací studie zásobování pitnou vodou v Přezleticích je definován následující osnovou:

- Rešerše dostupných podkladů
- Podrobné místní šetření zaměřené na určení odběrných míst a režimu odběru
- Rozbor spotřeby vody
- Měřicí kampaň
- Sestavení matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě vodovodu
- Kalibrace teoretického matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě vodovodu
- Rozšíření kalibrovaného matematického modelu na výhledový stav rozvoje sídla
- Vyhodnocení matematického modelu výhledového stavu

Jednotlivé body osnovy postupu prací jsou v rozumném rozsahu popsány v následujícím textu.

4.1 Rešerše dostupných podkladů

Výchozí podklad poskytující základní informaci o distribuční síti pitné vody byly získány z technické mapy obce tvořené především zaměřením skutečného stavu realizované vodovodní sítě, resp. úseků realizovaných v rámci stavebního rozvoje. V rozvojových lokalitách, kde v době zpracování studie probíhala výstavba, byly od stavebníků vodovodní sítě získány aktuální podklady. Významným podkladem nutným ke zmapování budoucího rozvoje sídla byl návrh ÚP a následná ústní konzultace se zpracovatelem, viz poznámka pod čarou 4 na straně 7, při níž byly, v časovém horizontu ÚP, definovány limity budoucího rozvoje sídla. Z podkladu byla dále získána koncepce budoucí uliční sítě, potřebná pro odhad délek budoucích větví vodovodní sítě. Sestavením výše popsaných podkladů byl získán soubor poskytující ucelenou informaci o výškovém řešení a dimenzi stávající vodovodní sítě a dostatečný materiál pro návrh budoucího vedení vodovodní sítě v rozvojových lokalitách.

Vedle informací o stávající vodovodní síti byly získány dlouhodobé časové řady přítoku pitné vody do vodovodní sítě Přezletice. Rozborem dlouhodobé časové řady byl sestaven teoretický hydrogram denní potřeby vody. V rámci řešení byla využita i informace o kvartálních odběrech pitné vody v jednotlivých připojených objektech, jejíž využití poskytlo věrohodnou informaci o skutečném rozdělení odběrů na vodovodní síti. Podrobný rozbor informací o přítoku a kvartálních odběrech je obsahem samostatné kapitoly 4.3.

Nedílnou součástí shromažďování podkladů bylo i podrobné místní šetření zpracovatele, zaměřené na upřesnění, resp. uvedení do vzájemné souvislosti, výše popsaných okruhů získaných podkladů.

⁵ <http://www.prezletice.cz/adresar-firem/>

4.2 Stručný popis stávající vodovodní sítě

Majitelem vodovodní sítě Přezletice je obec Přezletice, současným provozovatelem je firma Vodohospodářská společnost Benešov, s.r.o.

Distribuční síť Přezletice je zásobována pitnou vodou odebíranou z vodovodní sítě hlavního města Praha, napojení je realizováno měrnou šachtou v Praze Víně v Klenovské ulici proti připojení jižní větve Labětínské. Vedle uzavíracích armatur je ve směru přítoku v šachtě osazeno měření tlaku na přítoku, indukční průtokoměr a měření tlaku na odtoku. Veškerá měření jsou vybavena dálkovým přenosem dat do velína provozovatele Pražské vodovodní sítě PVK a.s. Měrná šachta je realizována na potrubí z tvárné litiny profilu DN200, terén šachty je proveden na kótě 232,30 m n.m., dno potrubí na kótě 230,26 m n.m.

Z vodoměrné šachty pokračuje potrubí vodovodu Přezletice v profilu DN200 Klenovskou ulicí na společnou hranici města a obce Přezletice. Na území Prahy není z potrubí odebírána pitná voda. Prvním odběrným místem v Přezleticích je odbočení do ulice U Bažantnice. Trasu vodovodu od měrné šachty přibližně po Ctěnický potok se bohužel z dostupných podkladů nepodařilo jednoznačně ujasnit.

Distribuční síť je na území Přezletic provedena z PE potrubí v dimenzích D225, D160, D110 a D90. Největší profil odpovídá Víně ulici po ulici Pod Zahradu, dále pokračuje profil D160, procházející v severojižním směru prakticky celou obcí až do křížení ulic Veleňská, Čakovická a Na Kocandě. Zbývající část distribuční sítě je v závislosti na vzdálenosti od páteřního řadu dimenze D160, resp. na počtu připojených nemovitostí, provedena v dimenzi D110, v koncových partiích v profilu D90.

V blízkosti koncové části páteřního řadu profilu D160 je v ulici Čakovická na pozemku k. n. číslo 421/1 historický, dnes již nevyužívaný vodojem, dále jen VDJ. Objekt byl v minulosti realizován jako zásobní nádrž pro přilehlý vodní zdroj odkud byla pomocí automatické tlakové stanice, dále jen ATS, distribuována pitná voda do RD v Jilmové ulici, realizovaných v nedávné minulosti. V dnešní době armaturní komora VDJ, resp. strojovna bývalé ATS, slouží jako předávací bod pro zásobování RD v Jilmové ulici⁶.

Výškově je vodovod umístěn v rozpětí kót 225,90 m n. m., ulice Topolová, a 241,06 m n. m. Koncový úsek v ulici Čakovická. Možným vyšším místem vodovodní sítě může být koncový profil ulice Jilmová, jelikož se ovšem jedná o úsek mimo distribuční síť Přezletice, nepodařilo se zajistit přesné informace o výškovém řešení, použity byly hodnoty odvozené z map [3].

Dle dispozic PVK a.s. vodovodní síť Přezletice náleží do tlakového pásma číslo 111, čerpací stanice Klíčov, přes regulační ventil Víně, s kótami 281 – 286 m n.m.

4.3 Rozbor spotřeby vody

Měření průtoku v předávacím bodě Klenovská za období 28.2. 2012 až 4.9. 2013

Časová řada průtoku měrnou šachtou, získaná od dodavatele pitné vody PVK a.s., Klenovská byla nejprve interpolována do jednotného časového kroku ΔT . Získané ekvidistanční časové řady byly následně rozříděny dle kritérií možného sezonního, resp. týdenního vlivu. Oblasti uvažovaných vlivů jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 1: Okruh uvažovaných vlivů na změnu denního hydrogramu odběru

sezonní vlivy	týdenní vlivy
nezávisle na letních prázdninách	pracovní dny
mimo letní prázdniny	dny pracovního klidu
o letních prázdninách	dny před dnem pracovního klidu
	státní svátky

⁶ Vodovod v Jilmové ulici není součástí vodovodní sítě Přezletice. Majitelem a provozovatelem vodovodu je p. Milota, Přezletice Jilmová ulice. Vodovod v Jilmové ulici je součástí řešené studie.

Z přehledu uvažovaných vlivů působících změnu denního hydrogramu spotřeby pitné vody je patrné že pro časovou řadu odtoku do distribuční sítě byly pro 3 sezónní vlivy vybrány vždy 4 týdenní vlivy, čímž vzniklo celkem $k=12$ časových řad. Časové řady odpovídající jednotlivým kritériím byly následně rozříděny do časových řad jednotlivých dní, kde při časovém kroku ΔT hodnota času nabývá hodnot $T_j \in \{0:00 \div 24:00 - \Delta T\}$. Popsaným postupem bylo pro každý j -tý časový krok denního hydrogramu spotřeby vody získáno n hodnot, které bylo možné statisticky vyhodnotit. Hodnoty byly považovány za náhodnou veličinu s normálním rozdělením. Vyhodnocována byla střední hodnota μ_{jk} a směrodatná odchylka σ_{jk} , obojí v jednotkách vyhodnocované veličiny [l/s].

$$\mu_{jk} = \frac{1}{n} \sum_i X_{ijk}, \quad \sigma_{jk} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (X_{ijk} - \mu_{jk})^2} \quad (1)$$

Neznámá proměnná X_{ijk} má význam i -té vyhodnocované veličiny v j -tém časovém okamžiku dne z k -té časové řady posuzovaných vlivů, kde index i nabývá hodnot 1 až n . Indexy j a k jsou definovány v předchozím odstavci.

$$\begin{aligned} MV_k &= \sum_j \mu_{jk} \pm \sigma_{jk} \\ MQ_{max\ k} &= \max(\mu_{jk}) \pm \sigma_{jk} \\ MTQ_{max\ k} &= T_j \rightarrow j(\max(\mu_{jk})) \end{aligned} \quad (2)$$

Tab. 2: Výsledné hodnoty srovnání teoretických hydrogramů denní potřeby vody

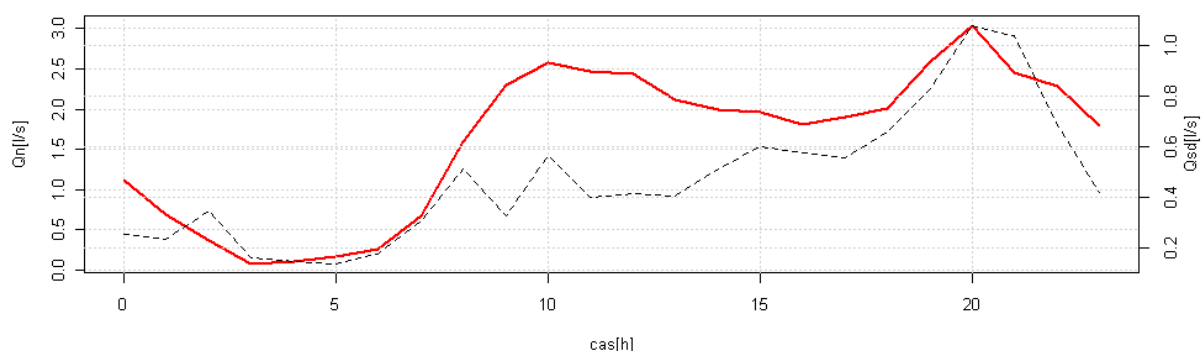
týdenní vliv	V_{max}	Q_{min}	Q_{max}	T_{Qmin}	T_{Qmax}
sezónní vliv bez rozlišení					
pracovní dny	33,64±9,68	0,14±0,3	2,77±0,63	3	20
dny pracovního klidu	38,63±12,14	0,14±0,26	2,84±0,84	4	20
státní svátky	37,33±11,35	0,08±0,15	2,74±1,11	3	20
dny před dnem pracovního klidu	33,22±9,68	0,13±0,3	2,39±0,57	4	20
sezónní vliv mimo prázdniny					
pracovní dny	33,31±9,2	0,16±0,33	2,81±0,62	3	20
dny pracovního klidu	38,75±11,39	0,15±0,28	2,92±0,84	4	20
státní svátky	38,8±11,33	0,09±0,16	3,03±1,08	3	20
dny před dnem pracovního klidu	32,9±9,07	0,15±0,3	2,41±0,54	3	20
sezónní vliv o prázdninách					
pracovní dny	34,74±9,84	0,07±0,12	2,67±0,67	4	20
dny pracovního klidu	38,21±12,86	0,08±0,11	2,67±0,8	3	21
státní svátky	32,56±8,04	0,04±0,08	2,81±0,73	4	11
dny před dnem pracovního klidu	34,37±9,8	0,06±0,08	2,31±0,66	4	20

Legenda: V_{max} objem vody proteklý během dne [m³]; Q_{max} maximální průtok [l/s]; Q_{min} minimální průtok [l/s]; T_{Qmax} hodina výskytu maximálního průtoku [h]; T_{Qmin} hodina výskytu minimálního průtoku [h].

Zvoleným postupem bylo získáno $k=12$ časových řad středních hodnot a hodnot směrodatných odchylek, z nichž bylo následně možné sestavit skutečné hydrogramy denní potřeby vody na zvolené hladině pravděpodobnosti p . Vyhodnocovány byly hladiny pravděpodobnosti $p=50\%$ a $p=95\%$, kde hladině $p=50\%$ odpovídá časová řada μ_{jk} a hladině $p=95\%$ časová řada $\mu_{jk} + 2 \sigma_{jk}$.

Rozdíl mezi jednotlivými časovými řadami byl kvantifikován metrikami hodnotícími celkový objem MV , špičkový odběr MQ_{max} a dobu výskytu špičkového odběru MTQ_{max} , viz rovnice 2.

Z hlediska zadané úlohy byly následně vybrány hydrogramy vykazující výskyt nejvyšších hodnot odběru, majících za následek největší snížení tlakových poměrů. Teoretické hydrogramy na hladině pravděpodobnosti $p=50\%$, získané popsáním rozbohem jsou obsahem přílohy, kapitola 10.1, číselné srovnání dle metrik definovaných vztahy 2 je uvedeno v tabulce 2. V souladu s požadavkem příklonu na stranu bezpečnosti, představovaným maximálními hodnotami okamžitých odběrů, byl pro další výpočty zvolen hydrogram odpovídající sezonnímu vlivu mimo prázdniny s týdenním vlivem státní svátky.

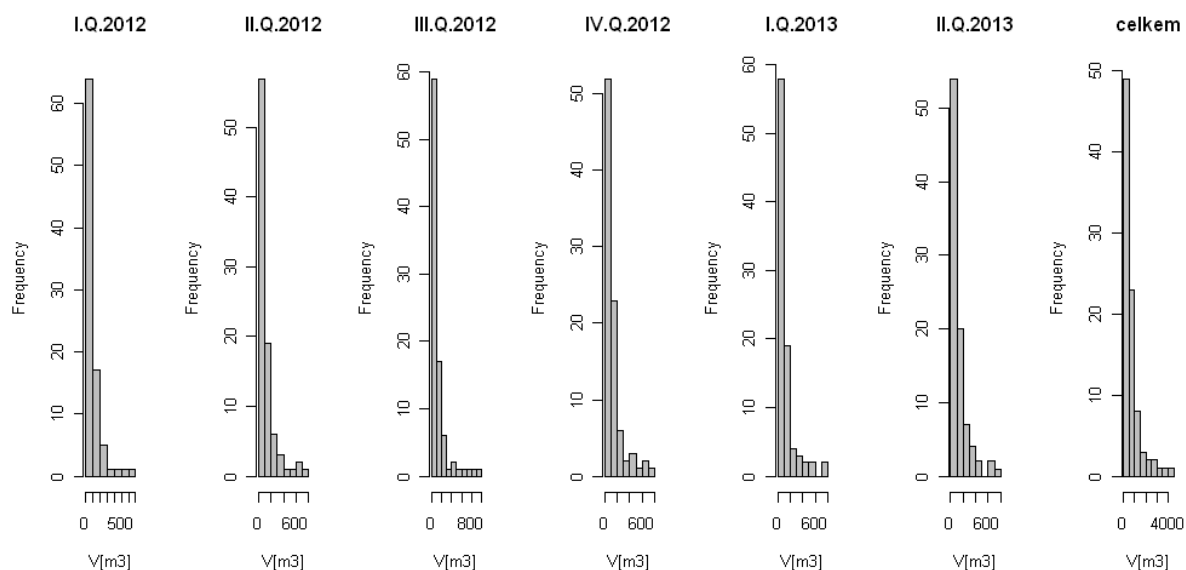


Obr. 2: Teoretický hydrogram denní potřeby pitné vody zvolený pro další využití, červeně Q_n [l/s] střední hodnota odpovídající hladině pravděpodobnosti 50%, černě Q_{sd} [l/s] směrodatná odchylka.

Teoretický hydrogram spotřeby vody byly následně využity pro odhad denní nerovnoměrnosti ve výhledovém stavu, resp. pro stanovení hodnoty maximálních odběrů, včetně pravděpodobnosti výskytu.

Kvartální odběry pitné vody

Od provozovatele vodovodní sítě Přezletice, Vodohospodářská společnost Benešov, s.r.o., byly získány informace o celkovém množství odebrané vody za kvartál ve všech registrovaných odběrných místech sídla. K dispozici byla data za rok 2012 a první pololetí roku 2013.



Obr. 3: Histogramy četností velikosti odběru v uzlových bodech schematizované distribuční sítě.

Kvartální odběry odpovídající jednotlivým nemovitostem byly seskupeny do odběrů odpovídajícím uzlovým bodům distribuční sítě, schematizované pro použití v matematickém modelu, viz samostatná příloha *B hydrotechnická situace*. Odběry odpovídající jednotlivým uzlovým bodům, V_i [m³], kde index i má význam i -tého uzlového bodu výpočtu, byly pro jednotlivé kvartály vyneseny do histogramu zobrazujícího počet uzlových bodů, svislá osa grafů na obr. 3, spotřebovávajících objem pitné vody v určitém rozsahu, vodorovná osa grafů v obr. 3. Dále byla připojena hodnota za celé sledované období, která se liší pouze hodnotou celkového objemu, tvar histogramu je téměř totožný s histogramy jednotlivých kvartálů. Z histogramů jednotlivých kvartálů je patrné, že změna celkového objemu spotřebované vody za jednotlivé kvartály roste, ovšem velice pomalu. Z malého počtu vysokých odběrů, ale i z minimálních změn celkového počtu vysokých odběrů, lze dále usuzovat, že pomalý, takřka rovnoměrný, nárůst spotřeby odpovídá ojedinělým přistěhováním do nově realizovaných bytových jednotek. Lze tedy uzavřít, že nejvýznamnějším odběratelem pitné vody jsou bytové jednotky, především bytové domy. Význam odběrů pro podnikatelské aktivity je okrajový.

Výjimkou je období III.Q.2012, viz obr. 3, kde oproti všem zbývajícím kvartálům dojde k navýšení odběrů o 1/3. Jelikož jev není v následujících obdobích zopakován, nelze jej přičítat skokovému nárůstu spotřeby pitné vody, resp. skokovému nárůstu odběratelů. Patrný nárůst spotřeby byl způsoben doučtováním chybných fakturací při změně provozovatelské společnosti [14].

Přiřazení velikosti odběru pitné vody V_i jednotlivým uzlovým bodům schematizované distribuční sítě bylo na základě podobnosti celkových a kvartálních odběrů provedeno podle celkového odběru za sledované období, viz histogram označený *celkem* v obr. 3. Podíl i -tého uzlového bodu na celkové spotřebě P_i byl ve výpočtu vyjádřen bezrozměrným číslem určeným pro jednotlivé uzlové body dle vztahu:

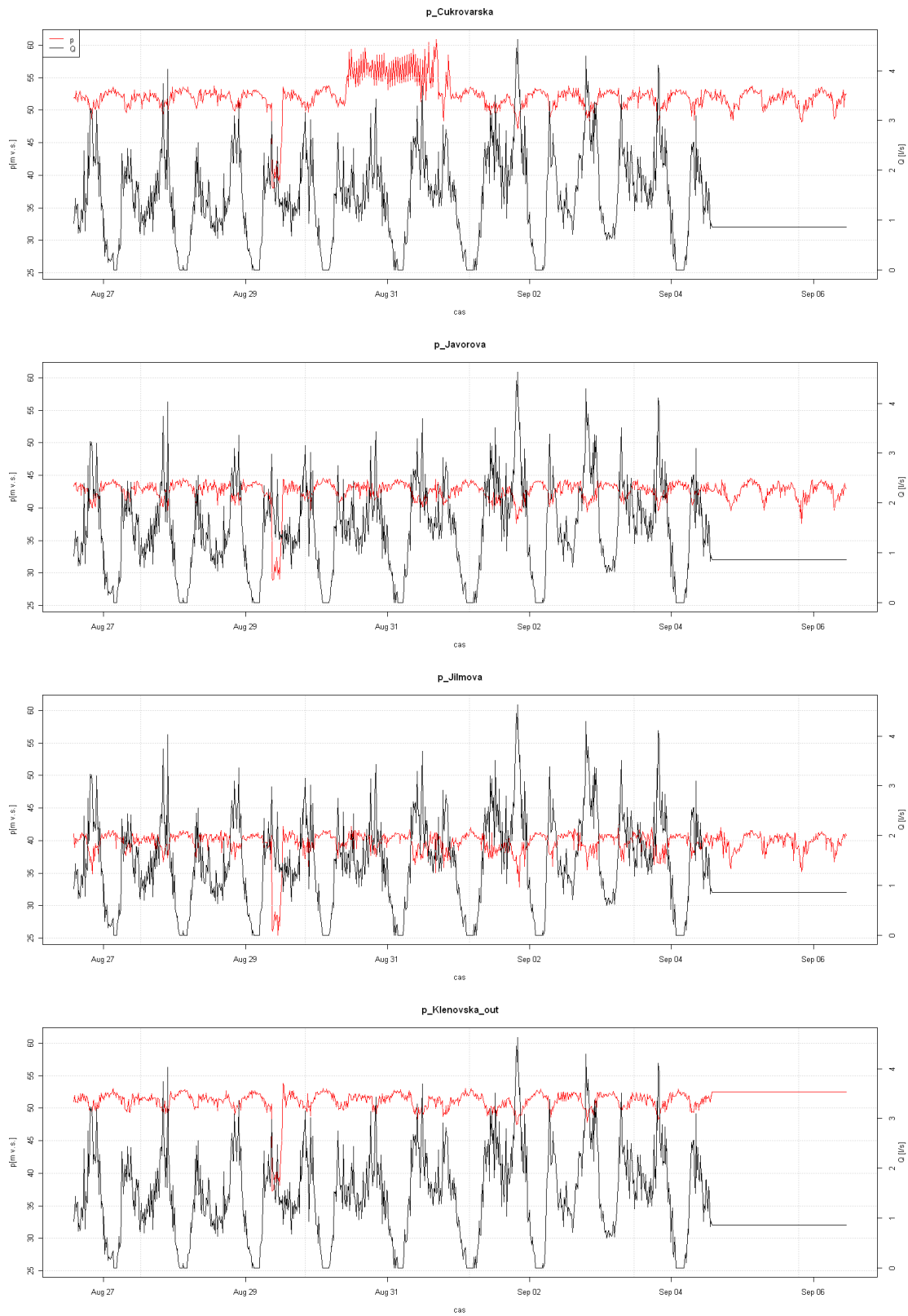
$$P_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (3)$$

Jistou nepřesnost ve stanovení rozložení odběrů na síti, resp. podílu uzlových bodů na celkovém odběru, představují odběry hrazené paušální platbou, u nichž není stanovení velikosti celkového objemu odebrané vody možné. Podíl paušálně hrazených odběrů byl v provedených výpočtech zanedbán a dále byl zaveden předpoklad, že rozložení paušálně hradících odběratelů na síti je rovnoměrné, podrobněji viz kapitola 7.

4.4 Realizace měrné kampaně

Přiblížení matematického modelu distribuční sítě skutečnosti je provedeno kalibrací, při níž jsou do vzájemné souvislosti uvedeny okamžité hodnoty tlaku a průtoku. Vhodná jsou data, která svou dobou trvání hodnověrně popíší průběh denní změny sledovaných veličin. Při realizované měrné kampani byly primárně sledovány okamžité tlaky ve vytčených profílech vodovodní sítě a na odtoku z měrné šachty Klenovská. K dispozici dále byl záznam měření průtoku v měrné šachtě Klenovská. Kontinuální sledování veličin nezbytných pro kalibraci modelu distribuční sítě probíhalo v plné šíři od pondělí 26.8. 2013 14:00 do středy 4.9. 2013 14:00. Měření na distribuční síti bylo realizováno zpracovatelem studie s časovým krokem $\Delta T_p = 1$ min, hodnoty z měrné šachty Klenovská, převzaté od dodavatele pitné vody PVK a.s., byly pořízeny s jednotným časovým krokem $\Delta T_K = 5$ min. Měření tlakových poměrů na vodovodní síti probíhalo i po výše uvedeném konci měření, data ovšem nebyla pro výpočtové práce použita, viz celkový přehled měřených dat na obr. 4.

Okamžité tlakové poměry ve vodovodní síti byly sledovány trojicí tlakoměrných senzorů připojených k armaturám distribuční sítě v budovách jednotlivých odběrných míst. Přímé připojení na armatury distribuční sítě nebylo technicky možné. S výjimkou měrné šachty Klenovská byly jednotlivé profily vytipovány tak, aby v dostupném rozsahu měření poskytl maximálně věrohodnou informaci v místech, kde lze očekávat návaznost budoucího rozvoje.



Obr. 4: Celkový přehled měření na distribuční síti Přezletice.

Měření tlaku bylo provedeno v následujících profilech:

<i>p_Javorova:</i>	dům č.p. 173, sklep za vodoměrem
<i>p_Jilmova:</i>	dům č.p. 316, výtok do směšovací baterie v přízemí
<i>p_Cukrovarska:</i>	hasičská zbrojnice č.p. 63, výtokový roháček v přízemí
<i>p_Klenovska_out:</i>	měření na výtoku z měrné šachty

Měřené hodnoty tlaku převedené na m v. s., zvětšené o geodetickou výšku měrného profilu H_g [m n. m.] vyjadřují celkovou energii systému v měrném profilu E [m n. m.], která vlivem ztráty třením kolísá, v závislosti na okamžitém odběru pitné vody. Podrobné vykreslení celkové energie v měrných profilech vzhledem k okamžitému přítoku do distribuční sítě, pro jednotlivé dny měrné kampaně je obsahem přílohy, kapitola 10.2.

Vzájemný vztah měření v jednotlivých profilech, určený celkovou energií, je možné stanovit pouze na základě znalosti geodetické výšky měrného profilu H_{g-i} [m n. m.], kde index i má význam měřeného profilu. Přesná hodnota geodetické výšky byla známa pouze v profilu *p_Klenovska_out*, zatímco v ostatních profilech byla známa pouze geodetická výška potrubí sítě. Určení geodetické výšky bylo provedeno výpočtem pro okamžité hodnoty tlaku při průtoku $Q=0$, vzhledem ke známé geodetické výšce v měrné šachtě Klenovská.

Tab. 3: Geodetické výšky měrných profilů

měrný profil:	<i>p_Cukrovarska</i>	<i>p_Javorova</i>	<i>p_Jilmova</i>	<i>p_Klenovska_out</i>
geodetická výška [m n. m.]:	229,19	238,74	241,7	230,26

Z celkového srovnání měření tlakových poměrů, obr. 4, je patrný výpadek v měrném profilu *p_Cukrovarska* po dobu necelých dvou dní. Zbývající data ovšem vykazují výtečnou shodu okamžitého tlaku s okamžitým průtokem. Výjimkou je několikahodinový pokles tlaku z úterý 29.8. 2013, viz obr. 12 nemající přímou spojitost s okamžitým odběrem. Jelikož pokles byl zachycen všemi tlakoměrnými čidly nelze jej považovat za chybu měření. Pravděpodobným důvodem je vnější zásah provozovatele vodovodu přivádějícího pitnou vodu do sítě Přezletice.

4.5 Sestavení matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě

Posouzení vodovodní sítě Přezletice je provedeno matematickým modelem kalibrovaným vzhledem ke skutečnému okamžitému přítoku do odběrného místa a skutečným okamžitým změnám tlakové výšky, hodnotám získaným v průběhu měrné kampaně. Matematický model byl realizován pomocí softwarového prostředí Epanet 2.0 [2]. Zjednodušeně je možné modelové řešení problému popsat jako kombinaci následujících dílčích úloh:

- výpočet ztráty třením v dlouhém potrubí v režimu tlakového proudění
- výpočet zokruhované sítě
- zohlednění dynamiky systému uvážením změny odběru v průběhu dne

Výpočet ztráty třením v tlakovém potrubí je řešen dle Darcy-Weisbacha.

$$Z = \lambda \frac{lv^2}{D2g} = i_e l \quad (4)$$

Neznámé proměnné:

- Z výška ztráty třením [m]
- λ součinitel ztráty třením [-]
- l délka úseku potrubí [m]
- v střední průřezová rychlost [m s⁻¹]
- D průřez potrubí [m]
- g gravitační zrychlení [m s⁻²]
- i_e sklon čáry energie [-]

Neznámá hodnota součinitele ztráty třením λ je určena vztahem Colebrooka a Whita:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7D}\right) \quad (5)$$

Neznámá proměnná k má význam absolutní drsnosti potrubí [mm], proměnná Re značí Reynoldsovo číslo definované vztahem:

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad (6)$$

Proměnná ν značí kinematickou viskozitu, ve výpočtu uvažovanou hodnotou odpovídající průměrné teplotě vody ve vodovodních sítích 10°C.

Dynamický model distribuční sítě je sestaven jako síť odběrných míst odpovídajících uzlovým bodům reálné trubní sítě. Formálně je model koncipován jako 1D úloha. Řešení vychází z předpokladu, že požadované množství vody, resp. průtok daný součtem dílčích odběrů v daném odběrném místě, musí být sítí bezpečně proveden. Hodnoceny jsou tlakové poměry v odběrném místě a rychlostní poměry v potrubí spojujícím odběrná místa. V případě, že požadovaný průtok nemůže být proveden, úloha nemá řešení a je nutné změnit parametry výpočtu.

Na základě znalosti parametrů potrubí, polohy odběrných míst, spolu s požadovanou hodnotou průtoku, tj. potřeby vody v odběrném místě, je možné z rovnice kontinuity stanovit střední průřezovou rychlost. Kombinací rovnic 4 až 6 je ze známé hodnoty střední průřezové rychlosti určen sklon čáry energie a následně vyčíslena hodnota ztráty třením.

Ze stručného přehledu vyplývá, že sestavení modelu je možné na základě znalosti následujících hodnot:

- profil úseku potrubí mezi uzlovými body D [m]
- délka úseku mezi uzlovými body l [m]
- absolutní drsnost potrubí k [mm]
- geodetická výška uzlového bodu H_g [m n. m.]
- polohové řešení trubní sítě
- okrajová vstupní podmínka
- střední hodnota odběru požadovaného v i -tém uzlovém bodu Q_{oi} [l/s]

Profil potrubí a vzdálenost mezi uzlovými body byly stanoveny rešerší dostupných podkladů. Výchozím podkladem pro určení absolutní drsnosti potrubí byla hodnota doporučená odbornou literaturou [4], která byla následně upřesněna kalibrací. Geodetická výška uzlových bodů byla s výjimkou měrných profilů získána taktéž rešerší dostupných podkladů, pro měrné profily byla určena výpočtem, viz kapitola 4.4. Vstupní okrajovou podmínku představují okamžité tlakové poměry měřené v profilu *p_Klenovska_out*.

Okamžitý odběr Q_{oij} v příslušném uzlovém bodu byl určen s využitím bezrozměrné hodnoty podílu na spotřebě P_i , viz rovnice 3 v kapitole 4.3, a okamžitého přítoku do spotřebiště měřeného v profilu *Klenovská Q_j* dle vztahu:

$$Q_{oij} = P_i * Q_j \quad (7)$$

Index j má význam okamžité hodnoty v příslušné časové řadě měřených hodnot.

4.6 Kalibrace matematického modelu stávajícího stavu distribuční sítě

Spolu se souborem měřených dat je nutným nástrojem kalibrace nástroj pro posouzení shody vypočtených a měřených hodnot. Kalibrace byla provedena pro jednotlivé dny měrné kampaně

nedotčené chybou měření v rozsahu od 27.8. do 29.8. 2013 včetně a od 1.9. do 3.9. 2013 včetně. Míra shody byla posuzována koeficientem determinace určeným vztahem 8. Proměnná p_{vij} má význam okamžité vypočtené hodnoty tlaku, analogicky p_{mij} okamžité měřené hodnoty tlaku. Proměnná p_{ms} značí měřenou střední hodnotu tlaku, vše v jednotkách m v. s. Ze vztahu vyplývá, že při absolutní shodě nabývá koeficient determinace hodnoty $D=1$. Výsledné shody pro i -té měřné profily v jednotlivých posuzovaných dnech jsou obsahem tabulky 4.

$$D = \frac{\sum_{j=1}^m (p_{vij} - p_{msi})^2}{\sum_{j=1}^m (p_{mij} - p_{msi})^2} \quad (8)$$

Tab. 4: Míra shody měření a výpočtu vyčíslená součinitelem determinace D

posuzovaný den	měrný profil		
	$p_Cukrovarska$	$p_Javorova$	$p_Jilmova$
2013-08-27	1,1110	0,8663	0,9035
2013-08-28	0,9305	0,7455	0,7782
2013-08-29	1,1047	1,1223	1,1613
2013-09-01	0,8824	0,8873	0,7086
2013-09-02	1,0045	0,9691	0,7664
2013-09-03	0,8050	1,0261	0,5462

Pouhé vyčíslení míry shody pro kalibrační, resp. verifikační, výpočty neposkytuje ucelenou představu o kvalitě modelu, systematické odchylky- MS , významnost malých odchylek- MMZ a významnost velkých odchylek- VMZ , je možné postihnout v souladu s doporučením odborné literatury [5] následujícími vztahy:

$$MS = \frac{\sum_{k=1}^w (1 - D_k)}{w}$$

$$MMZ = \frac{\sum_{k=1}^w |1 - D_k|}{w} \quad (9)$$

$$MVZ = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^w (1 - D_k)^2}{w}}$$

Neznámý index k má význam jednotlivých posuzovaných dní ve smyslu tabulky 4.

Tab. 5: Posouzení kvality modelu vzájemným srovnáním velikosti odchylky v %. V posledním sloupci uveden maximální přípustná hodnota odchylky [5].

	$p_Cukrovarska$	$p_Javorova$	$p_Jilmova$	doporučená hodnota
MS	2,70	6,39	18,93	max. 20
MMZ	10,04	11,34	24,31	max. 30
MVZ	11,55	13,66	26,77	max. 30

Ve výpočtech zaměřených na nalezení nejlepší shody mezi výpočtem a měřením byla upravována pouze hodnota součinitele absolutní drsnosti k [mm]. Z parametrů ovlivňujících výsledek modelu, viz kapitola 4.5, je možné za neurčitý parametr pokládat dimenzi potrubí, která se v průběhu užívání může vlivem zarůstání zmenšovat. Takový vliv ovšem nepřipadá v úvahu u potrubí realizovaného v nedávné

minulosti u materiálu PE. K zarůstání jsou náchylná spíše potrubí z šedé litiny. Parametr dimenze potrubí je tedy možné z optimalizačních výpočtů vyloučit.

Celkově byly provedeny tři kalibrační výpočty. V prvním výpočtu byl model vyhodnocen pro teoretickou hodnotu $k = 0,015$ mm, doporučenou výrobcí PE potrubí pro dimenze odpovídající řešené síti. Následně byly metodou genetického algoritmu [6, 7] ve dvou kalibračních výpočtech hledány různé hodnoty součinitele absolutní drsnosti k pro všechny modelované úseky. V obou případech bylo provedeno značné množství samostatných vyhodnocení modelu pro kritérium shody $\geq 0,001$. Součinitel k byl pro jednotlivé úseky potrubí optimalizován na intervalu 60% až 150% teoretické hodnoty $k = 0,015$ mm. Získané výsledky obou optimalizačních výpočtů vykazovaly tutéž hodnotu shody jako v případě použití teoretické hodnoty součinitele absolutní drsnosti. Zjištěný výsledek byl ověřen citlivostní analýzou [8] zaměřenou na posouzení vlivu změny hodnoty k na shodu vyjádřenou součinitelem determinace D . Provedením citlivostní analýzy byl zjištěn zcela minimální vliv součinitele drsnosti na dosaženou shodu.

Vzhledem k dosažení přijatelné shody výpočtu s měřením a ověření minimálního vlivu upravovatelných parametrů na dosaženou shodu, byl model využívající teoretickou hodnotu součinitele absolutní drsnosti vyhodnocen jako dostatečně přesný. Určité neshody mezi výpočtem a měřením, patrné z vykreslení kalibračních výpočtů, viz kapitola 10.3 v příloze, je možné přisoudit spíše nepřesnosti v určení skutečné geodetické výšky měrných profilů, spíše však značnému zjednodušení při určení okamžitého odběru pitné vody v uzlovém bodě, resp. zanedbání časové proměnlivosti; obojí je podrobně diskutováno v kapitole 7. Ze vzájemného srovnání celkové shody v jednotlivých profilech tab. 5, je patrné, že míra nepřesnosti roste se vzdáleností měrného profilu od měření v profilu *p_Klenovska_out*, představujícího okrajovou podmínku výpočtu. Navíc dochází k systematickému nadhodnocení, 1. řádek tab. 5, které ovšem představuje příklon na stranu bezpečnosti.

Vzhledem k dosažení přijatelné shody, tabulky 5 a 6, je možné sestavený matematický model distribuční sítě vodovodu Přezletice považovat za dostatečně přesný a lze jej uplatnit jako podklad při odhadu výhledového zatížení vlivem nárůstu počtu obyvatel v důsledku stavebního rozvoje navrženého územním plánem.

4.7 Teoretický model výhledového stavu

Vedle kalibrovaného modelu popsaného v předchozích kapitolách byl výchozím podkladem použitým pro sestavení modelu koncept zástavby v rozvojových lokalitách získaných při konzultaci se zpracovatelem ÚP, viz poznámka pod čarou 4 na straně 7. Z téhož zdroje byly získány i limity počtu obyvatel s nimiž je možné počítat při plné realizaci zástavby uvažované územním plánem, viz úvod kapitoly 3, část věnovaná stávající a výhledové zástavbě.

Tab. 6: Počty obyvatel v lokalitách a celková plocha střech rozvojových lokalit.

označení lokality	max. předpokládaný počet osob	celková plocha střech [m ²]
A	1000	21051
B	500	23047
C	700	5310
D	600 ⁷	12330
E	100	2366
F	100	2050
G	112	1396
ul. Pod Zahrady-nerealizovaná část	783	
stávající stav celkem	1154	
výhledový stav celkem	5049	

⁷ V případě lokality D byl odhad počtu obyvatel proveden analogií k probíhající výstavbě v lokalitě Nohavice, kde jsou k dispozici podrobné informace.

Na základě architektonického konceptu budoucí uliční sítě a výhledového rozložení budov bylo možné navrhnout distribuční vodovodní síť výhledového stavu. Z důvodu příklonu na stranu bezpečnosti bylo rozšíření vodovodní sítě uvažováno jednotně dimenzí D90. Hodnota absolutní drsnosti byla v souladu s poznatky získanými při kalibraci uvažována opět hodnotou $k=0,015$ mm.

Určení podílu na celkovém odběru pitné vody v jednotlivých uzlových bodech schematizované trubní sítě, hodnota P_i analogická rovnici 3, bylo provedeno vzhledem k počtu obyvatel os . Pro rozvojové lokality A až G byl počet obyvatel os_i odpovídající jednotlivým uzlovým bodům k -té lokality stanoven vztahem:

$$os_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} os_k \quad (10)$$

Neznámá proměnná A_i má význam plochy střech v povodí zásobovaném z i -tého uzlového bodu, n značí celkový počet uzlových bodů v k -tém povodí.

V případě stávající zástavby byl počet obyvatel stanoven vzhledem k bezrozměrné hodnotě podílu na odběru P_i stanovené rozbořem kvartálních spotřeb vody, viz druhá část kapitoly 4.3 a známé hodnotě celkového počtu obyvatel [9], viz tab. 6.

$$os_i = P_i * os_S = P_i * 1154 \quad (11)$$

Výhledový počet obyvatel po dokončení výstavby v okolí ulice Pod Lesy, viz poznámka pod čarou 1 strana 6, byl odvozen z projektové dokumentace stavby⁸.

Využitím odhadu počtu obyvatel os_i odpovídajících jednotlivým uzlovým bodům schematizované trubní sítě bylo možné stanovit podíl uzlového bodu na celkovém odběru ve výhledovém stavu PV_i dle vztahu:

$$PV_i = \frac{os_i}{\sum_{i=1}^n os_i} \quad (12)$$

Okamžitý odběr v i -tém uzlovém bodě byl stanoven analogicky rovnici 7, použitím hodnoty PV_i .

5 Zjištění průzkumu stávajícího stavu distribuční sítě

Podrobným místním šetřením zaměřným na zhodnocení stavu povrchových znaků vodovodní sítě, ani následným vyhodnocením měrné kampaně, nebyly zjištěny žádné zásadní nedostatky. Jediným nedostatkem, který je vhodné zmínit, jsou chybějící polohopisné údaje, resp. rozpornost polohopisných údajů, v úseku od měrné šachty Klenovská přibližně po Ctěnický potok a nesrovnalosti v polohopisných údajích v ulicích Pod Hájem a U Bažantnice. Zatímco v případě jmenovaných ulic je nejednoznačnost polohopisných dat marginální, v případě přivaděče, se jedná o nedostatek, který se v budoucnu může negativně projevit při plánovaném stavebním rozvoji.

⁸ Zpracovatel dokumentace PROJEKT IV s.r.o.

6 Výsledné hodnoty provedených výpočtů

6.1 Teoretický model stávajícího stavu

Matematický model distribuční vodovodní sítě Přezletice, kalibrovaný vzhledem k hodnotám zjištěným v průběhu měrné kampaně, byl v rámci posouzení stávajícího stavu zatížen maximálními odběry odpovídajícími hladině pravděpodobnosti $p=50\%$ a $p=95\%$, odvozenými na základě statistického rozboru dlouhodobé časové řady průtoků měrnou šachtou Klenovská, viz. první část kapitoly 4.3. Z důvodu příklonu na stranu bezpečnosti byly uvažovány minimální tlakové poměry v předávacím bodě měrná šachta Klenovská, garantované dodavatelem pitné vody PVK a.s., s kótou celkové energie 281 m n.m., viz závěr kapitoly 4.2. V neposlední řadě byly teoretickým modelem stávajícího stavu posouzeny i hydrostatické tlakové poměry.

Hladina pravděpodobnosti $p=50\%$ je reprezentována špičkovou hodnotou celkového přítoku do vodovodní sítě $Q_{p50}=3,03$ l/s, hladinu pravděpodobnosti 95% reprezentuje hodnota $Q_{p95}=5,19$ l/s, viz tab. 2 kapitola 4.3. Výpočet stávajícího stavu, zatížený teoretickým hydrogramem prokázal bezpečnou funkci vodovodní sítě s dostatečnou rezervou.

Výsledné hodnoty výpočtu jsou prezentovány formou mapy okamžitých průtoků a okamžitých tlaků při extrémních odběrech, viz kapitola 10.4 přílohy.

6.2 Teoretický model výhledového stavu

Rozšířením teoretického modelu o distribuční síť odpovídající konceptu stavebního rozvoje sídla a souvisejícího zvýšení počtu obyvatel, viz úvodní část kapitoly 3, byl sestaven věrohodný model výhledového stavu. Odběry pitné vody požadované v jednotlivých uzlových bodech výpočtu byly odvozeny zvláště pro stávající síť a zvláště pro rozvojová území, viz kapitola 4.7. Obdobně jako v předchozím případě teoretického modelu stávajícího stavu byla z důvodu příklonu na stranu bezpečnosti uvažována okrajová podmínka dolní hranicí tlakového pásma v měrné šachtě Klenovská, hodnotou celkové energie 281 m n.m.

Obdobně jako v případě stávajícího stavu bylo i zde posouzení provedeno vzhledem k extrémním hodnotám přítoku do vodovodní sítě Přezletice, odpovídajícím hladinám pravděpodobnosti $p=50\%$ a $p=90\%$. Zatímco ve stávajícím stavu byly hodnoty stanoveny statistickým rozбором dlouhodobého odtoku z měrné šachty Klenovská, viz kapitola 4.3, ve výhledovém stavu bylo nutné hodnotu upravit lineárně vzhledem k vývoji počtu obyvatel. V souladu se statistickým rozбором, viz tab. 2, a příslušnými počty obyvatel, viz tab. 6, je možné střední hodnotu μ a směrodatnou odchylku σ extrémního přítoku do vodovodní sítě Přezletice odhadnout hodnotami uvedenými v následující tabulce.

Tab. 7: Střední hodnota μ a směrodatná odchylka σ přítoku do vodovodní sítě Přezletice. Rozměr statistických veličin [l/s].

	osoby	μ	σ
stávající stav	1154	3,03	1,08
výhledový stav	5049	13,39	4,77

Použitá hodnota extrémních přítoků do vodovodní sítě Přezletice na příslušných hladinách pravděpodobnosti činí:

$$Q_{Vp50} = Q_{p50} \frac{\sigma_S}{\sigma_V} = \mu_S \frac{\sigma_S}{\sigma_V} = 3,03 \frac{5049}{1154} = 13,39 \text{ [l/s]} \quad (13)$$

$$Q_{Vp95} = (\mu_S + 2 \sigma_S) + \frac{\sigma_S}{\sigma_V} = (3,03 + 2 * 1,08) \frac{5049}{1154} = 22,92 \text{ [l/s]}$$

Výpočet výhledového stavu, zatížený extrémními hodnotami odběru prokázal bezpečnou funkci vodovodní sítě s dostatečnou rezervou. Výsledné hodnoty výpočtu jsou prezentovány formou mapy okamžitých průtoků a okamžitých tlaků při extrémních odběrech, viz kapitola Chyba: zdroj odkazu nenalezen přílohy.

7 Diskuse

Využitím dostupných mapových podkladů byl sestaven schematizovaný matematický model distribuční vodovodní sítě Přezletice, který byl následně kalibrován k měřeným hodnotám okamžitých tlaků a okamžitého přítoku do vodovodní sítě. Statistickým rozбором dlouhodobé časové řady přítoku do vodovodní sítě byly stanoveny hodnoty špičkových přítoků, resp. extrémních celkových odběrů, se zohledněním sezonních a týdenních vlivů na hladinách pravděpodobnosti $p=50\%$ a $p=95\%$, tj. hodnoty přítoků, které budou překonány v 50 %, resp. 5 %, případů. Jelikož byly z důvodu příklonu na stranu bezpečnosti vybrány maximální hodnoty odpovídající sezonnímu vlivu mimo prázdniny a týdennímu vlivu státní svátky, je nutné upozornit, že k překročení zvolené hodnoty průtoků na hladině pravděpodobnosti 95% dojde pouze ve státních svátcích mimo letní prázdniny, tedy pouze ve skutečně ojedinělých případech.

Rozložení odběrů na vodovodní síti bylo ve stávajícím stavu zhodnoceno statistickým rozбором kvartálních odběrů v jednotlivých odběrných místech vodovodní sítě. Provedený rozbor je ovšem zatížen chybou způsobenou zanedbáním odběrů hrazených paušálním poplatkem, o nichž je předpokládáno, že jsou na vodovodní síti rozmístěny rovnoměrně.



Obr. 5: Rozložení paušálních odběrů na vodovodní síti ve stávajícím stavu.

Z obrázku 8 je patrné, že splnění předpokladu rovnoměrnosti rozložení paušálních odběrů není zcela přesvědčivé, paušální odběry jsou kumulovány spíše do historického jádra obce. Z provedených

výpočtů, stávajícího i výhledového stavu, je ovšem patrné, že s výjimkou kmenových řadů velkých profilů, jsou průtoky v historickém jádru minimální. Dále je třeba upozornit, že zanedbání paušálních odběrů nemá význam na celkovou spotřebu vody. Zanedbané paušální podíly na odběru jsou tudíž rovnoměrně rozloženy mezi všechny uzlové body, což je vždy lepší než pouhé rovnoměrné rozložení podílu odběru na uzlový bod. Lze tedy uzavřít, že zanedbání paušálních odběrů při určování podílu na odběru je vzhledem k použité metodě zcela zanedbatelné.

Kalibraci a verifikaci matematického modelu, vzhledem k hodnotám okamžitých měřených tlaků, při zatížení skutečnými průtoky měřenými v šachtě Klenovská bylo dosaženo přijatelných shod mezi měřeními a výpočtem. Citlivostní analýzou byl zjištěn minimální vliv modelu ke změně parametru absolutní drsnosti a optimalizaci neznámé skutečné hodnoty geodetické výšky měrných profilů. Provedenými výpočty byl dále zjištěn pokles shody výpočtu a měření rostoucí se vzdáleností měrného profilu od známého průtoku. Největší nesoulad výpočtu a měření v měrném profilu $p_{Jilmova}$, viz kapitola 10.3 přílohy, je možné vysvětlit nepřesností v určení okamžitých odběrů v uzlových bodech. V použitém modelu je okamžitý odběr uvažován konstantní hodnotou podílu na celkovém odběru sídla, což je ovšem v rozporu se skutečností, kde jsou okamžité odběry primárně vázány na okamžité otevření a následné uzavření baterií atd. Tento jev je možné posoudit např. stochastickým modelem, což ovšem značně přesahuje zadání úlohy, včetně dostupného rozpočtu měřicí kampaně. V neposlední řadě je nutné připomenout, že dosažené shody jsou ve shodě s doporučeními odborné literatury přijatelné [5].

Odhad velikosti extrémních výhledových odběrů byl odvozen z rozboru spotřeby vody ve stávajícím stavu, vzhledem ke změně počtu obyvatel. Věrohodnost odhadu extrémního průtoku na hladině pravděpodobnosti $p=50\%$, $Q_{vp50}=13,93$ l/s, je potvrzena srovnáním s hodnotou maximálního hodinového průtoku stanoveného dle ČSN [13], který ve výhledovém stavu činí pro uvažovaných 5049 obyvatel $Q_{khmax}=14,02$ l/s, při denní potřebě vody 120 l/os/den. Skutečná průměrná potřeba vody zjištěná rozбором přítoku do distribuční sítě činí necelých 100 l/os/den.

8 Závěr

Podrobným statistickým rozбором dlouhodobého přítoku do distribuční sítě veřejného vodovodu Přezletice byl získán věrohodný hydrogram denní potřeby pitné vody, pro stávající počet obyvatel. S využitím znalosti o vývoji počtu obyvatelstva obce v závislosti na stavebním rozvoji byl hydrogram stávající denní potřeby vody upraven na výhledový stav. Získaný hydrogram výhledové denní potřeby pitné vody byl použit pro zatížení modelu distribuční sítě výhledového stavu.

Model distribuční sítě byl sestaven na základě znalosti stávající sítě a rozložení odběrných míst. Pro potřebu výpočtu stávajícího stavu byl model kalibrován vzhledem k okamžitým hodnotám tlakových poměrů a okamžitým hodnotám přítoku do distribuční sítě, získaným v průběhu měřicí kampaně. Model distribuční sítě byl sestaven rozšířením modelu stávajícího stavu potrubím profilu D90. Profil byl zvolen pouze z důvodu příklonu na stranu bezpečnosti, pro budoucí rozvoj obce je vhodné realizovat propoje větších dimenzí.

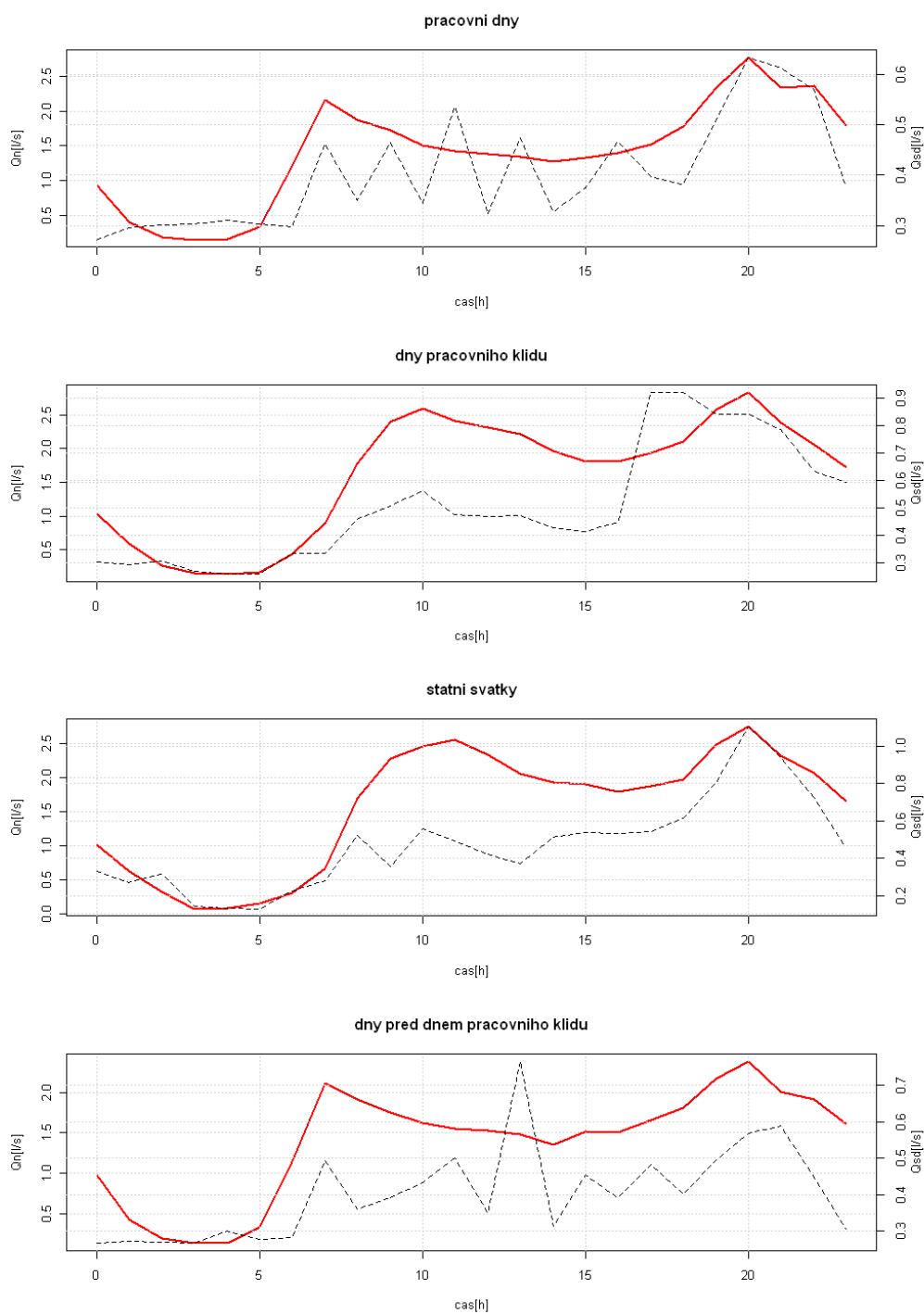
Výpočtem modelu výhledového stavu, uvažujícího primárně odběry odpovídající rozvoji bydlení, bylo zjištěno, že při provozu vodovodní sítě nedojde k výskytu nežádoucích provozních stavů. V celé síti budou zachovány přijatelné tlakové poměry v rozmezí 33,46 až 54,47 m v. s. při extrémním odběru vody a minimální hodnotě vstupního tlaku v šachtě Klenovská.

9 Použité podklady a literatura

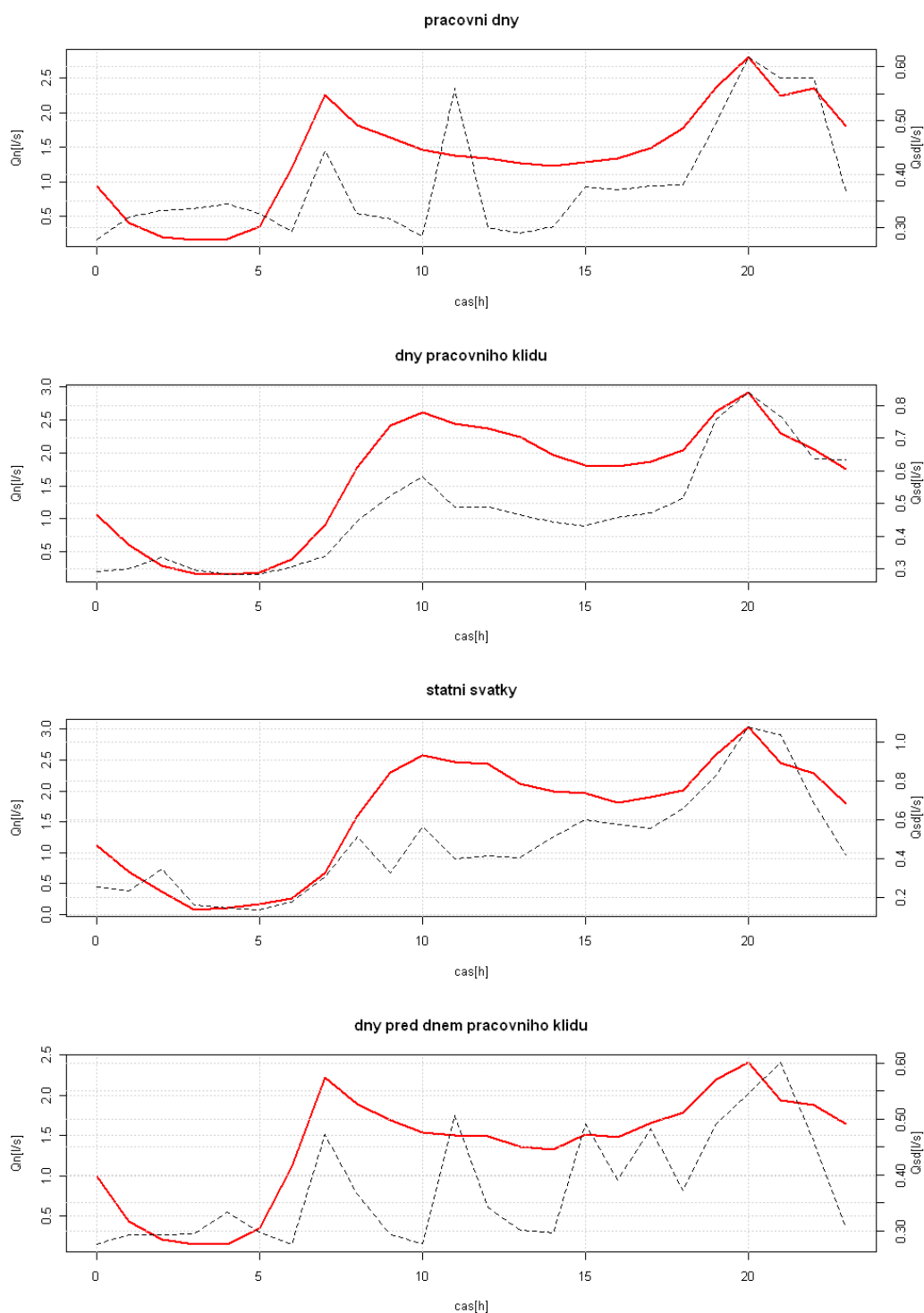
- [1] <http://www.prezletice.cz/uzemni-plan/>
- [2] Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory
- [3] Topografická mapa ČÚZK, <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [4] Havlík, Marešová, Hydraulika Příklady, ČVUT Praha, 1997
- [5] Krejčí, V. a kol., Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup, NOEL, Brno 2000.
- [6] Barco, J., at. all, Automatic Calibration of the U.S. EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment, Journal of Hydraulic Engineering, 2008.
- [7] Jin, X., Automatic Calibration of SWMM Model with Adaptive Genetic Algorithm, IEEE, 2011.
- [8] Fasso A., Sensitivity Analysis for Environmental Models and Monitoring Networks, University of Bergamo, zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/Sensitivity_analysis
- [9] <http://www.prezletice.cz/statistiky/>
- [12] Kolektiv autorů, ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí, Český normalizační institut, Praha, 2007.
- [13] Kolektiv autorů, ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky, Český normalizační institut, Praha, 2004.
- [14] Frková J., Vodohospodářská společnost Benešov, s.r.o., ústní konzultace, 2013.

10 Přílohy

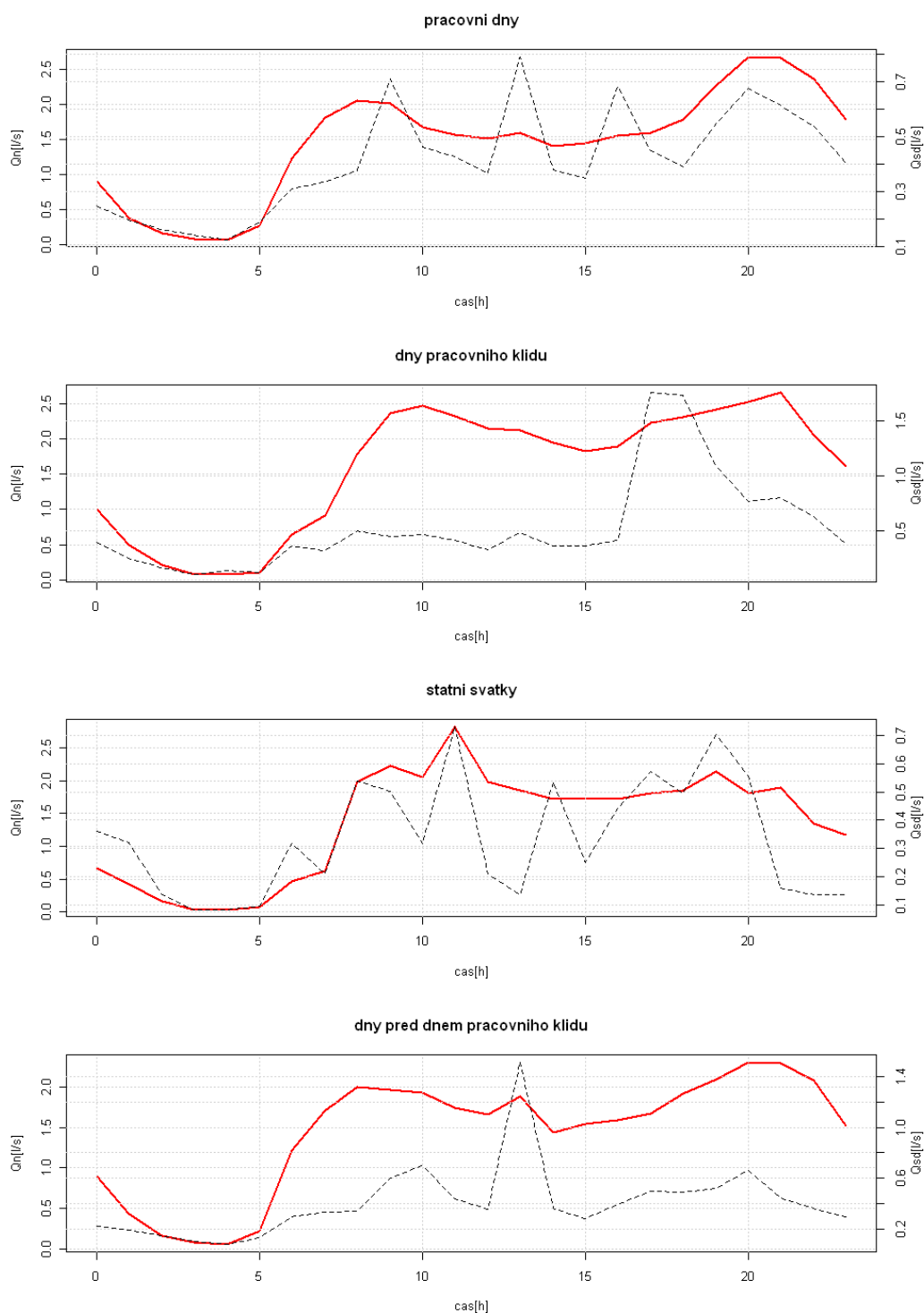
10.1 Teoretické hydrogramy denní potřeby vody



Obr. 6: Teoretické hydrogramy denní potřeby vody pro jednotlivé týdenní vlivy, **bez rozlišení sezonního vlivu**. Červeně střední hodnota, černě směrodatná odchylka.

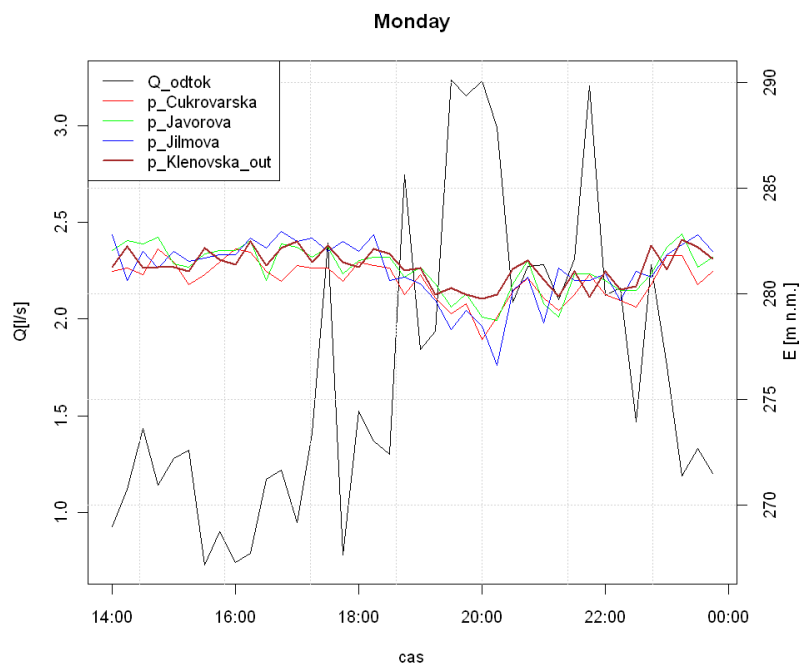


Obr. 7: Teoretické hydrogramy denní potřeby vody pro jednotlivé týdenní vlivy, sezonní vliv mimo prázdniny. Červeně střední hodnota, černě směrodatná odchylka.

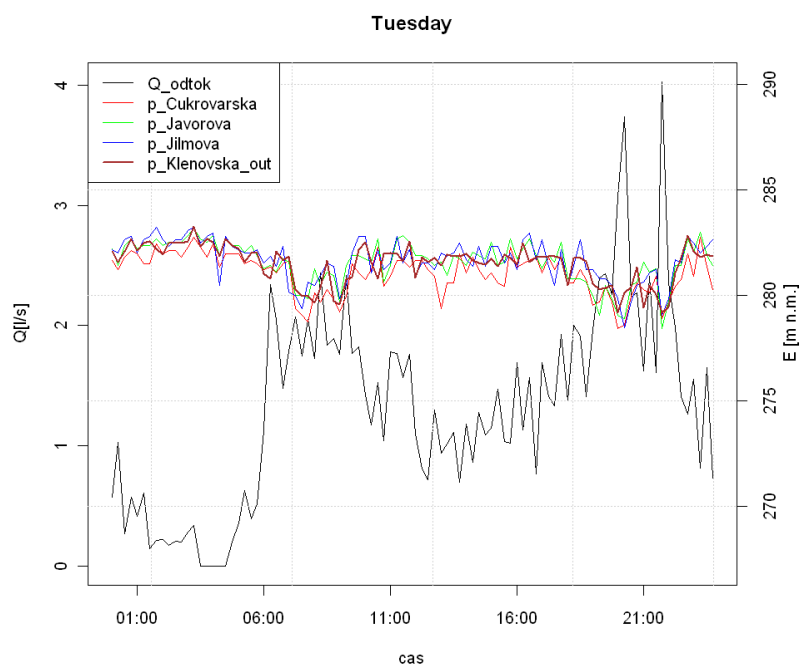


Obr. 8: Teoretické hydrogramy denní potřeby vody pro jednotlivé týdenní vlivy, sezónní vliv o prázdninách. Červeně střední hodnota, černě směrodatná odchylka.

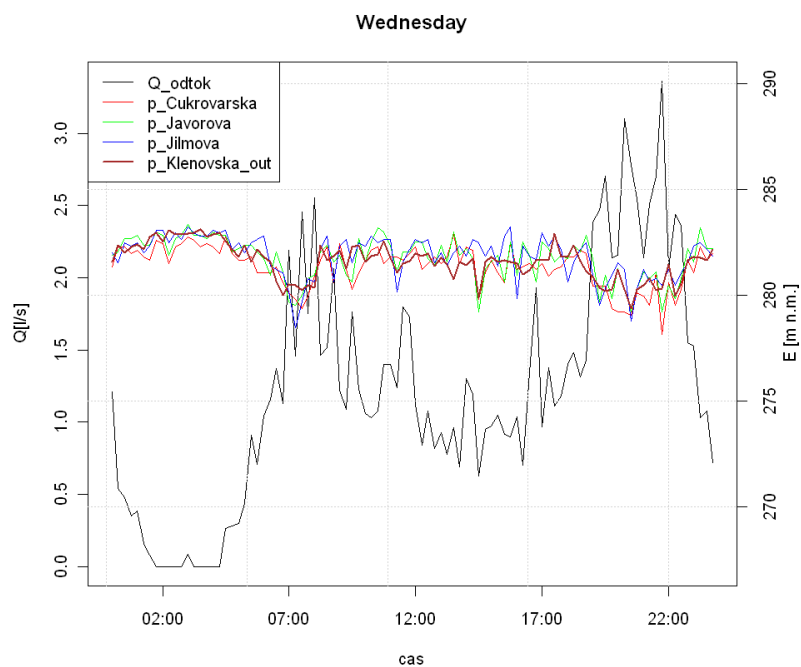
10.2 Podrobné vykreslení výsledků měrné kampaně



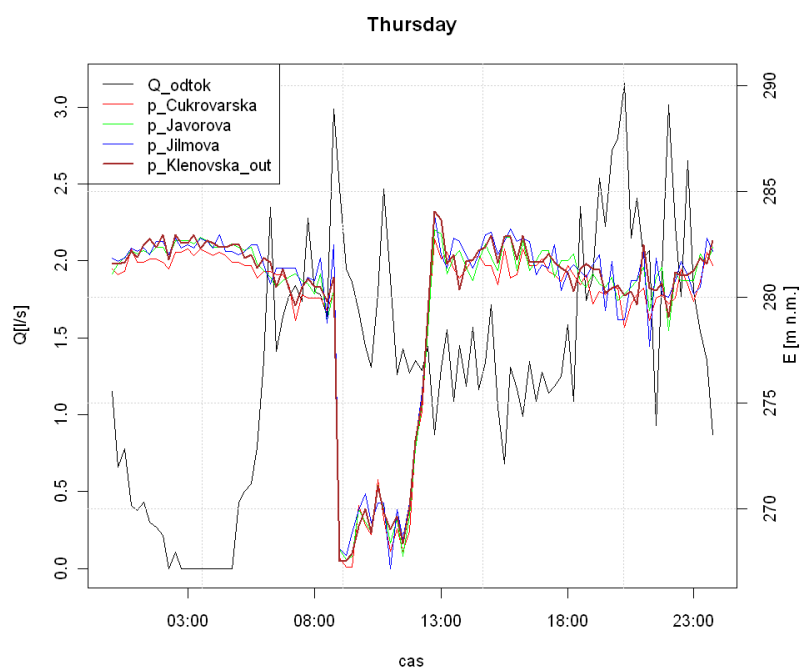
Obr. 9: Výsledky měrné kampaně 26.8. 2013.



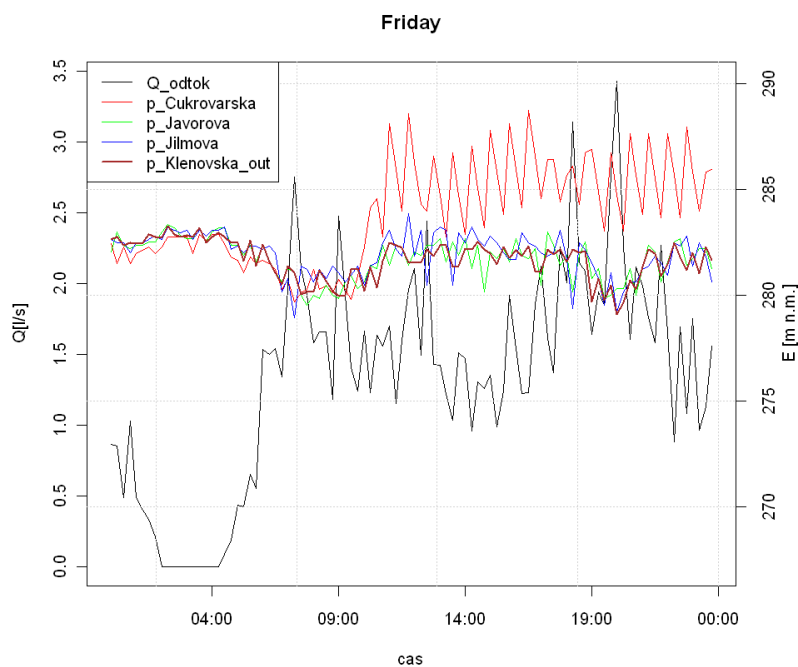
Obr. 10: Výsledky měrné kampaně 27.8. 2013.



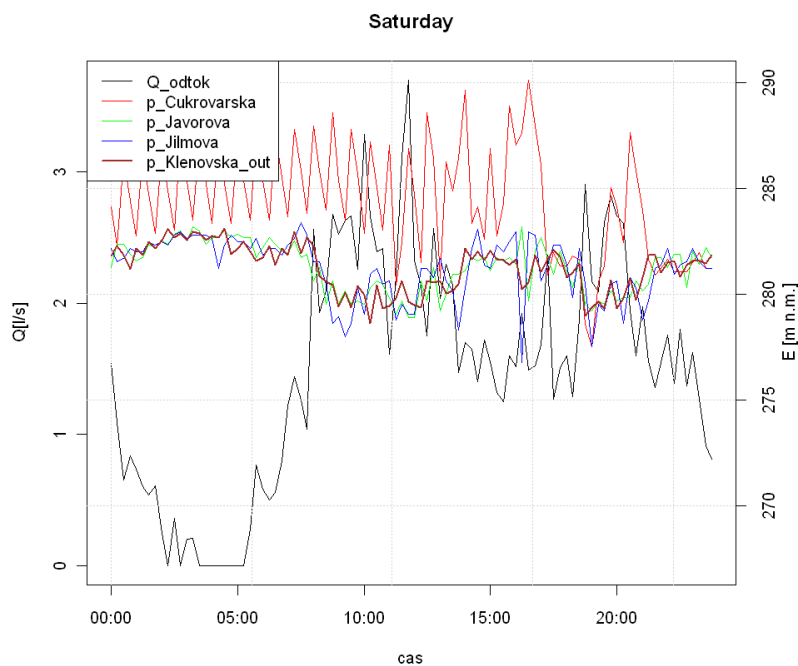
Obr. 11: Výsledky měrné kampaně 28.8. 2013.



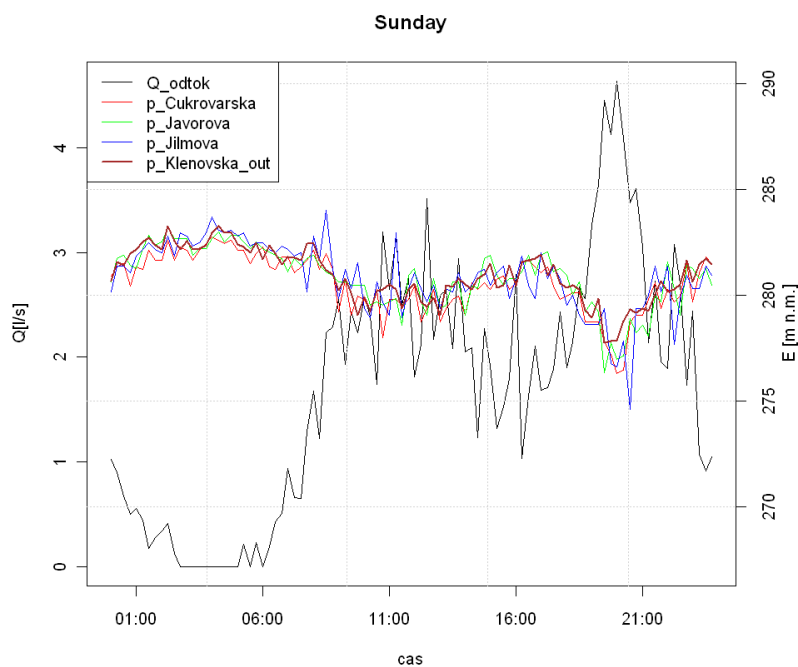
Obr. 12: Výsledky měrné kampaně 29.8. 2013.



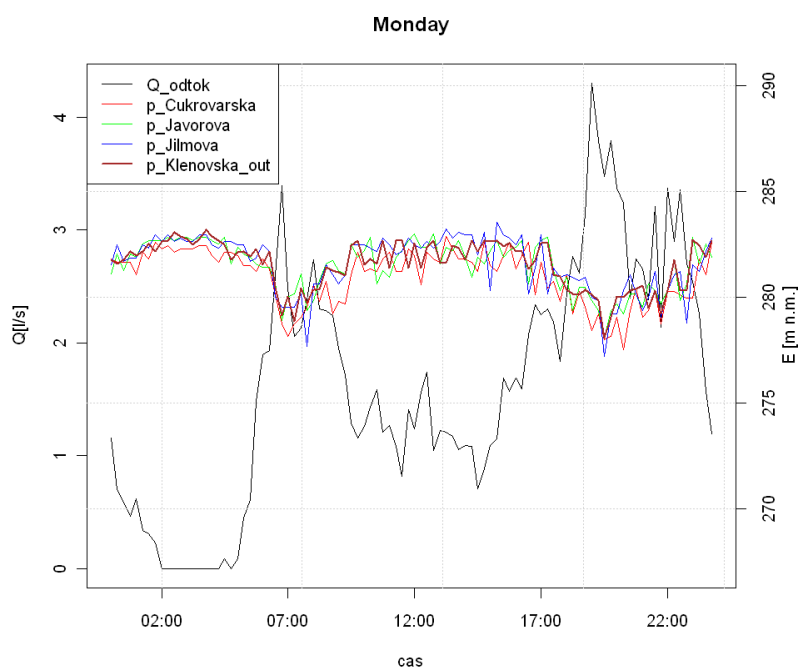
Obr. 13: Výsledky měrné kampaně 30.8. 2013.



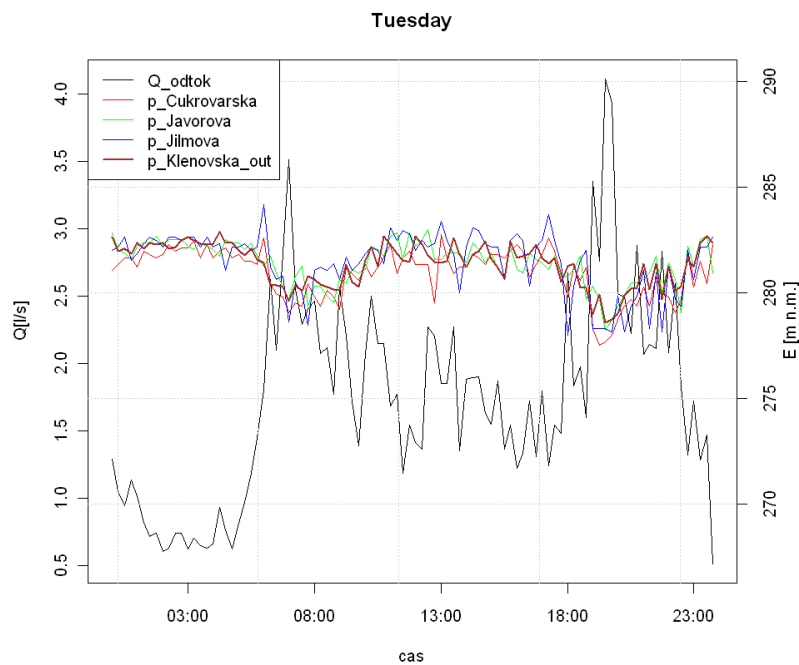
Obr. 14: Výsledky měrné kampaně 31.8. 2013.



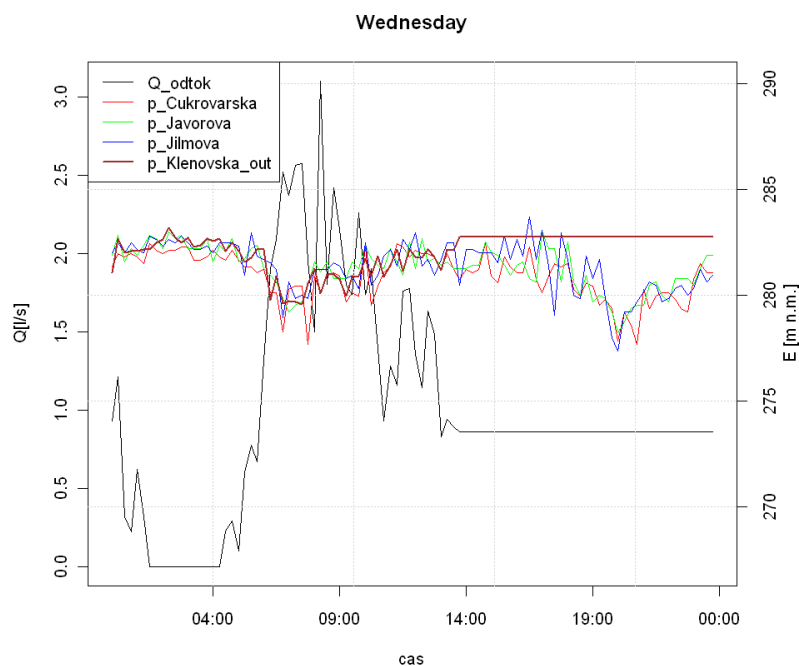
Obr. 15: Výsledky měrné kampaně 1.9. 2013.



Obr. 16: Výsledky měrné kampaně 2.9. 2013.

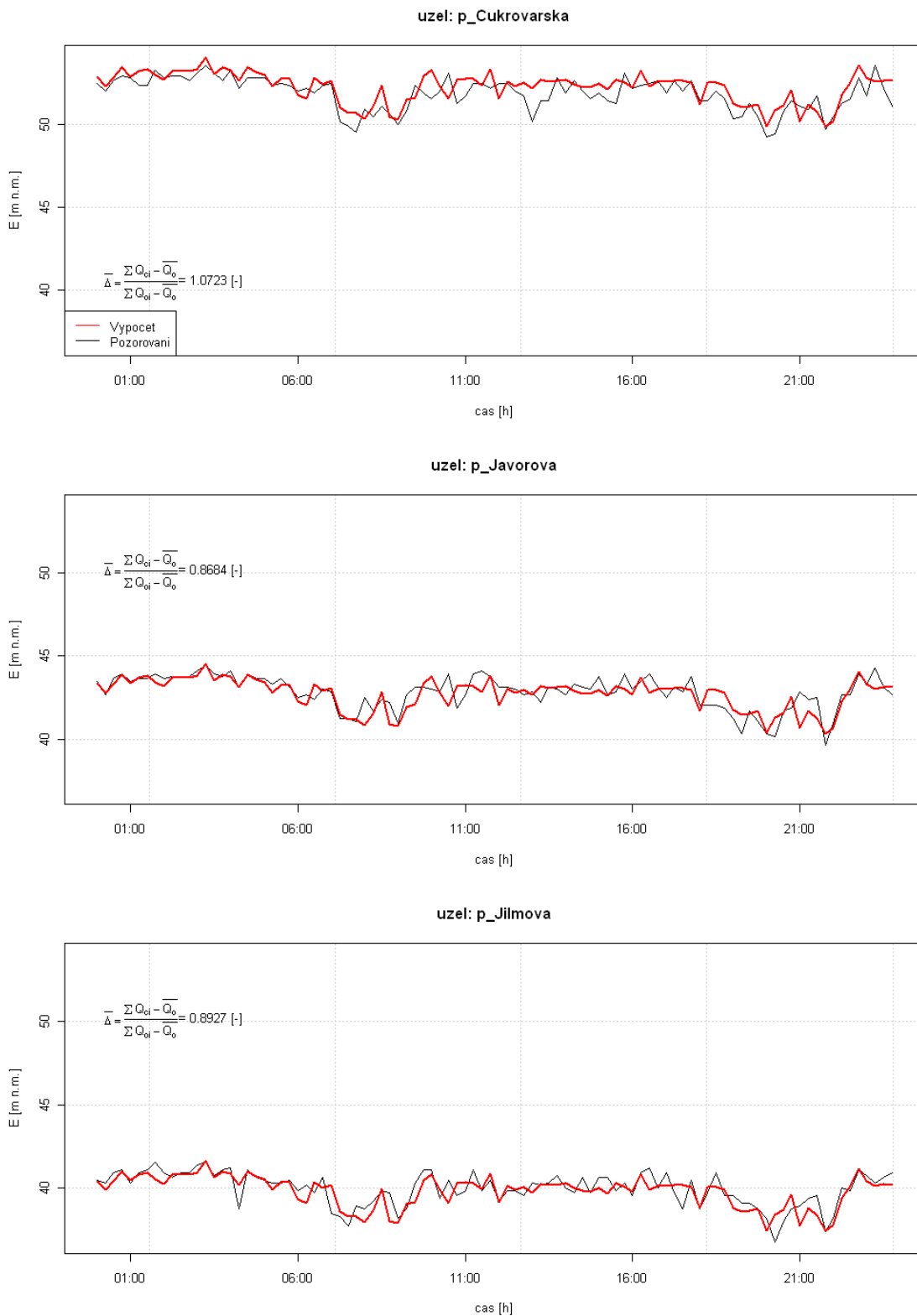


Obr. 17: Výsledky měrné kampaně 3.9. 2013.

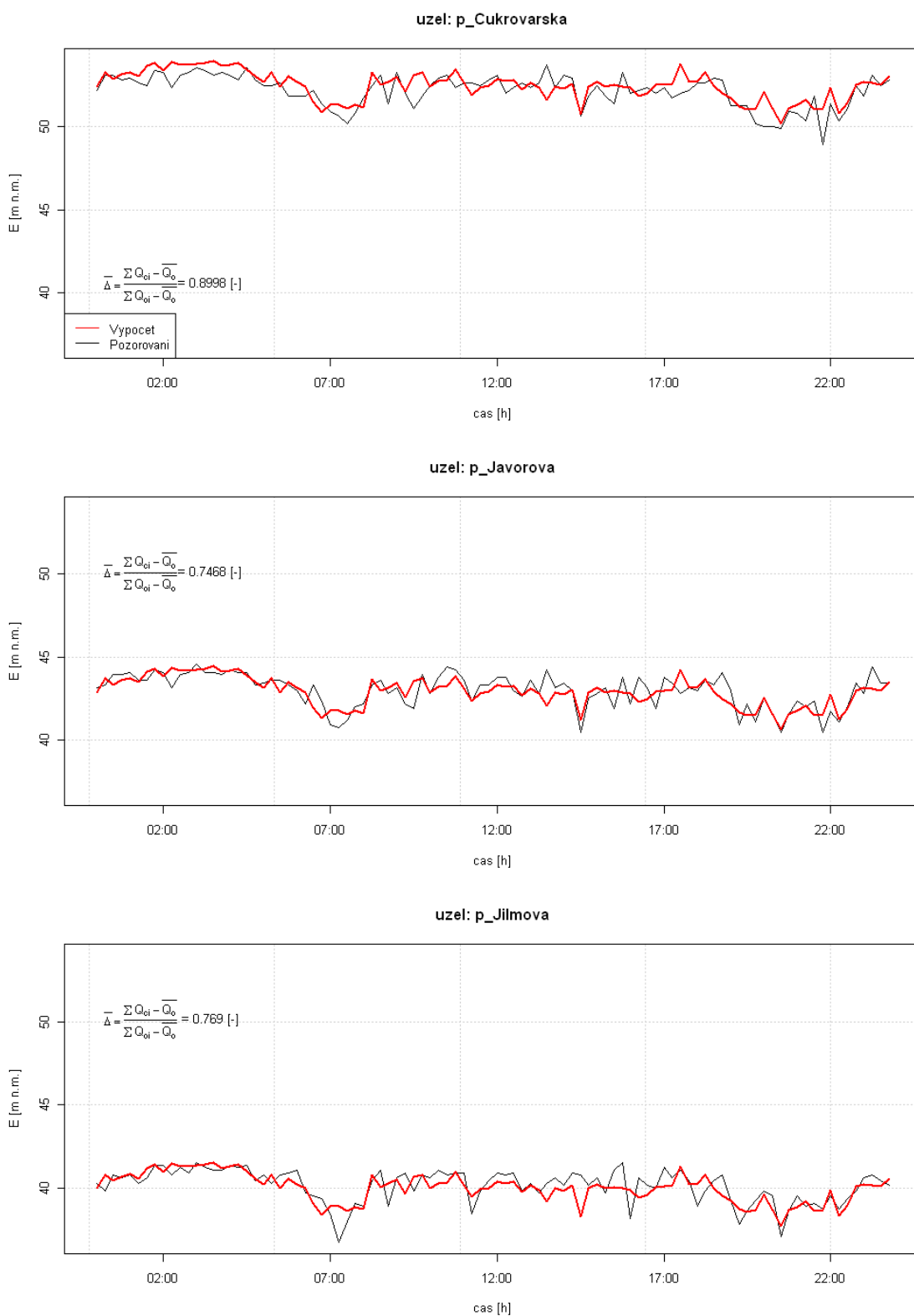


Obr. 18: Výsledky měrné kampaně 4.9. 2013.

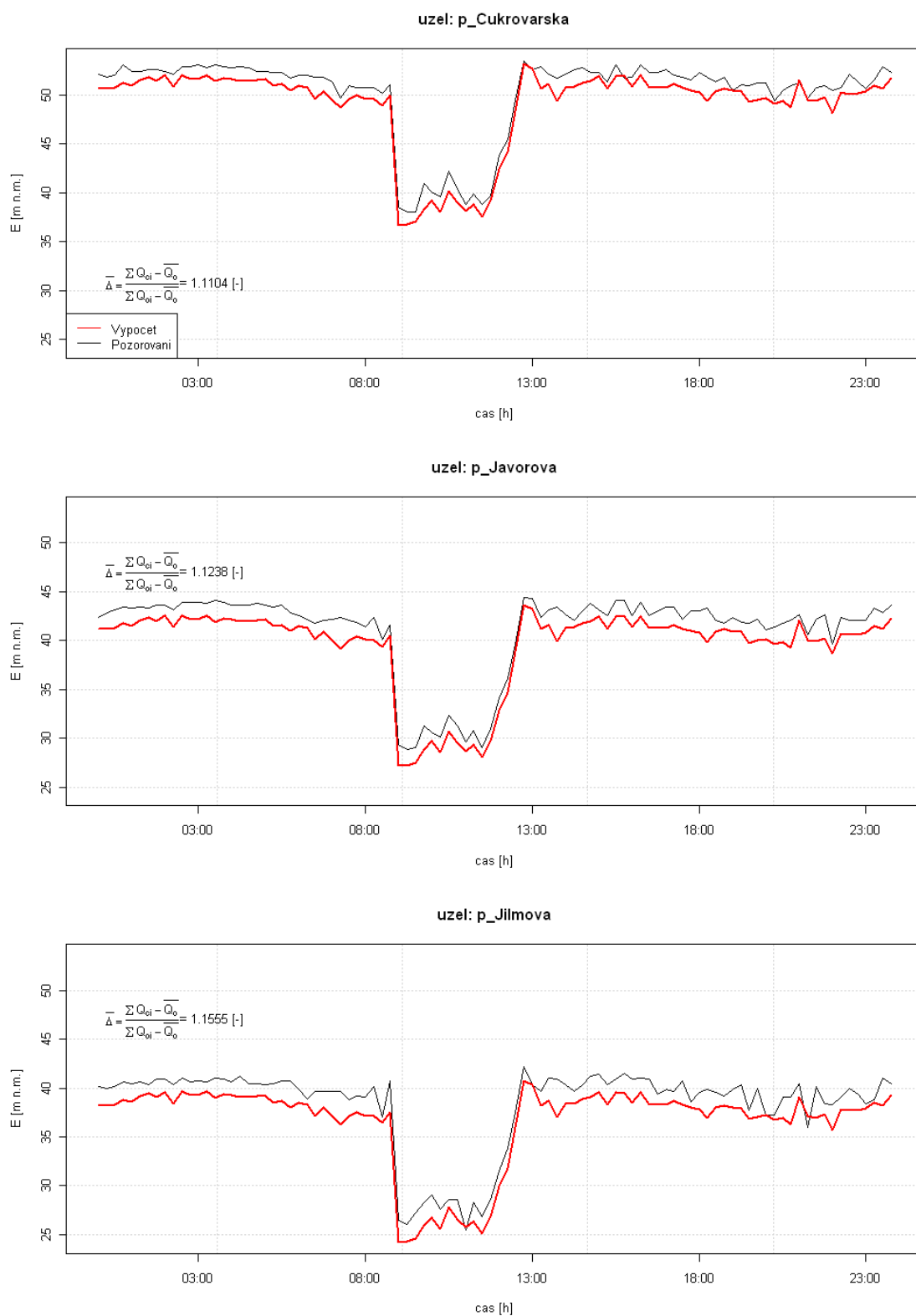
10.3 Kalibrační a verifikační simulace



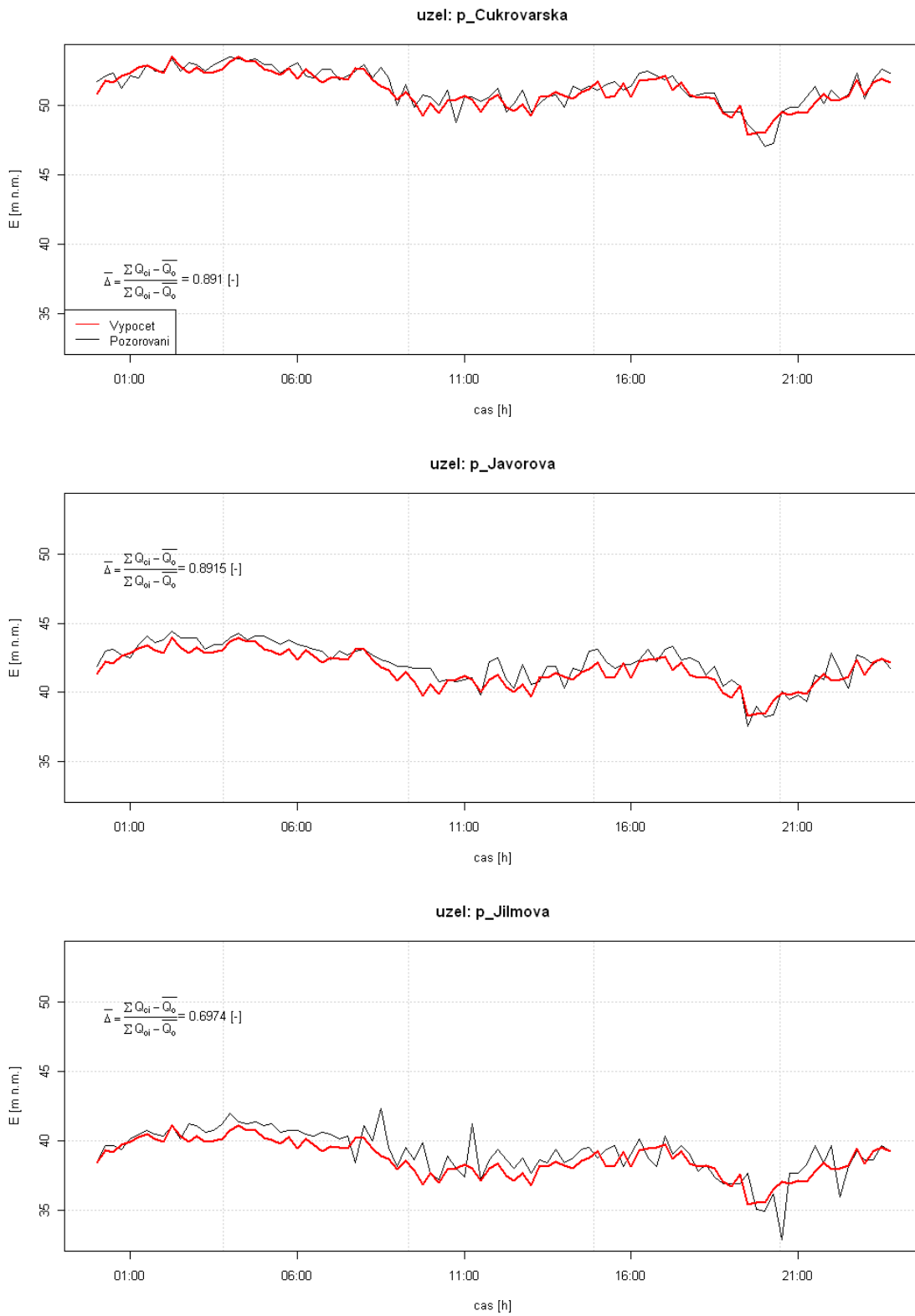
Obr. 19: Verifikační simulace vzhledem k měření z 27.8.2013.



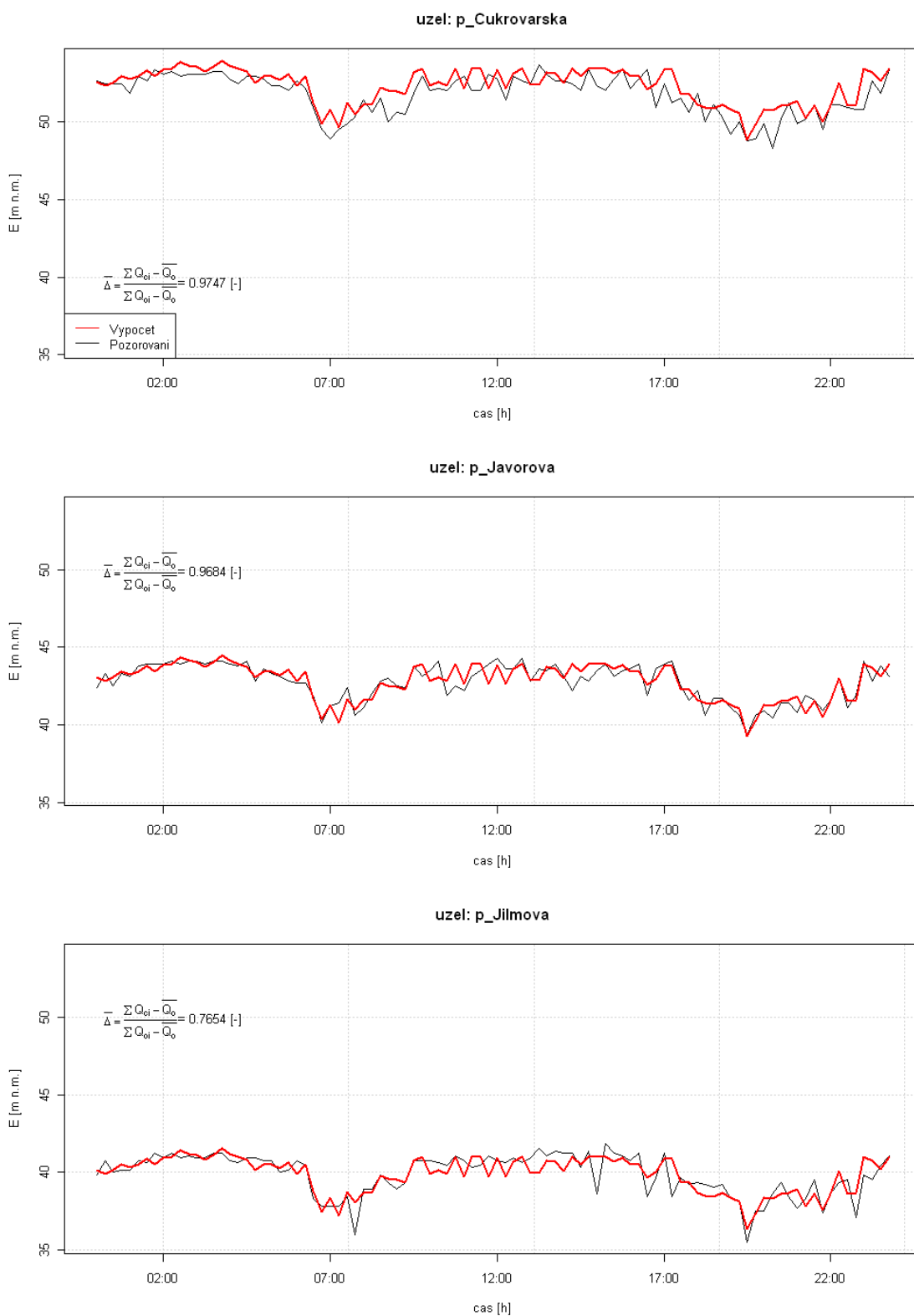
Obr. 20: Kalibrační simulace vzhledem k měření z 28.8.2013.



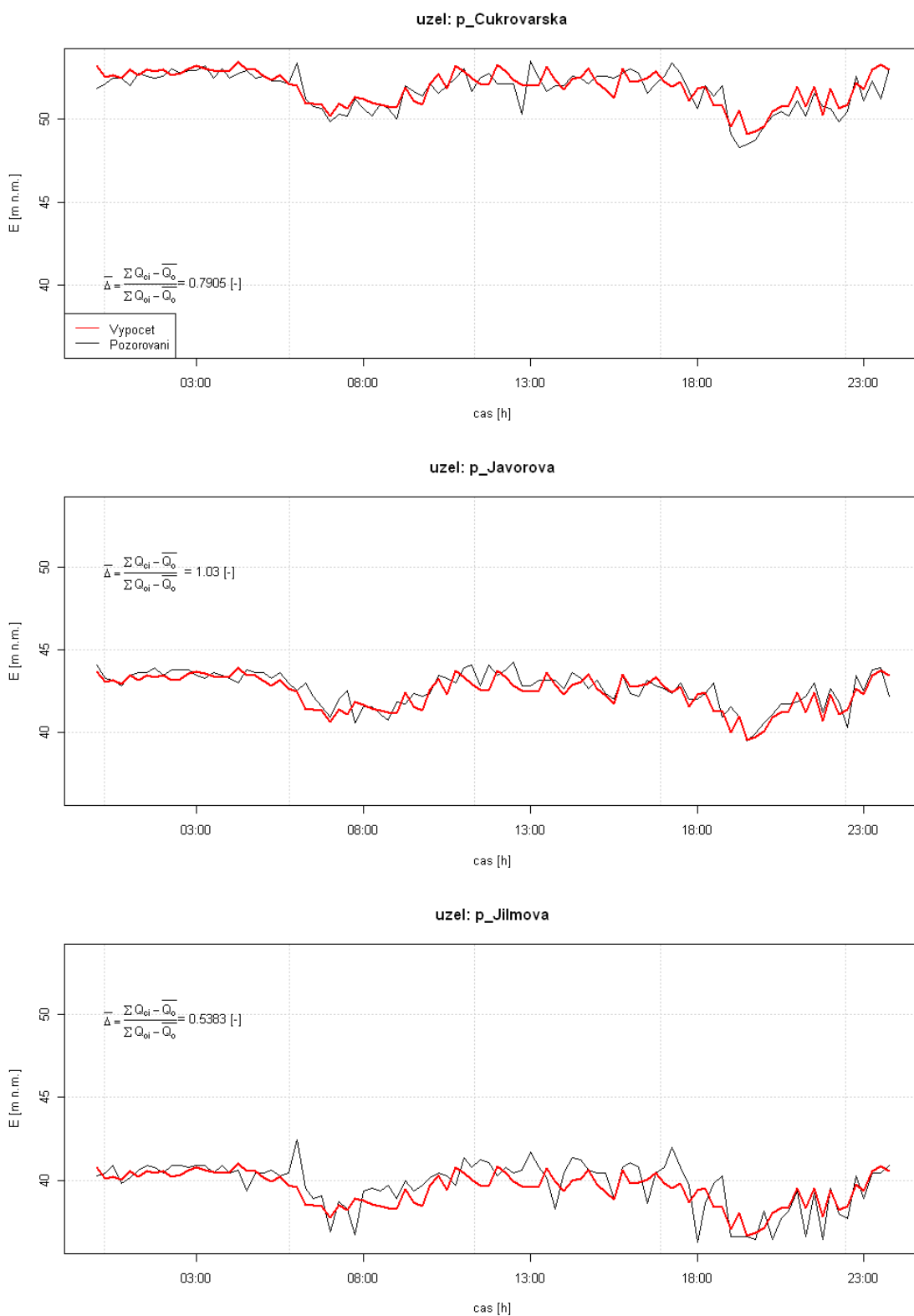
Obr. 21: Verifikační simulace vzhledem k měření z 29.8.2013.



Obr. 22: Verifikační simulace vzhledem k měření z 1.9.2013.

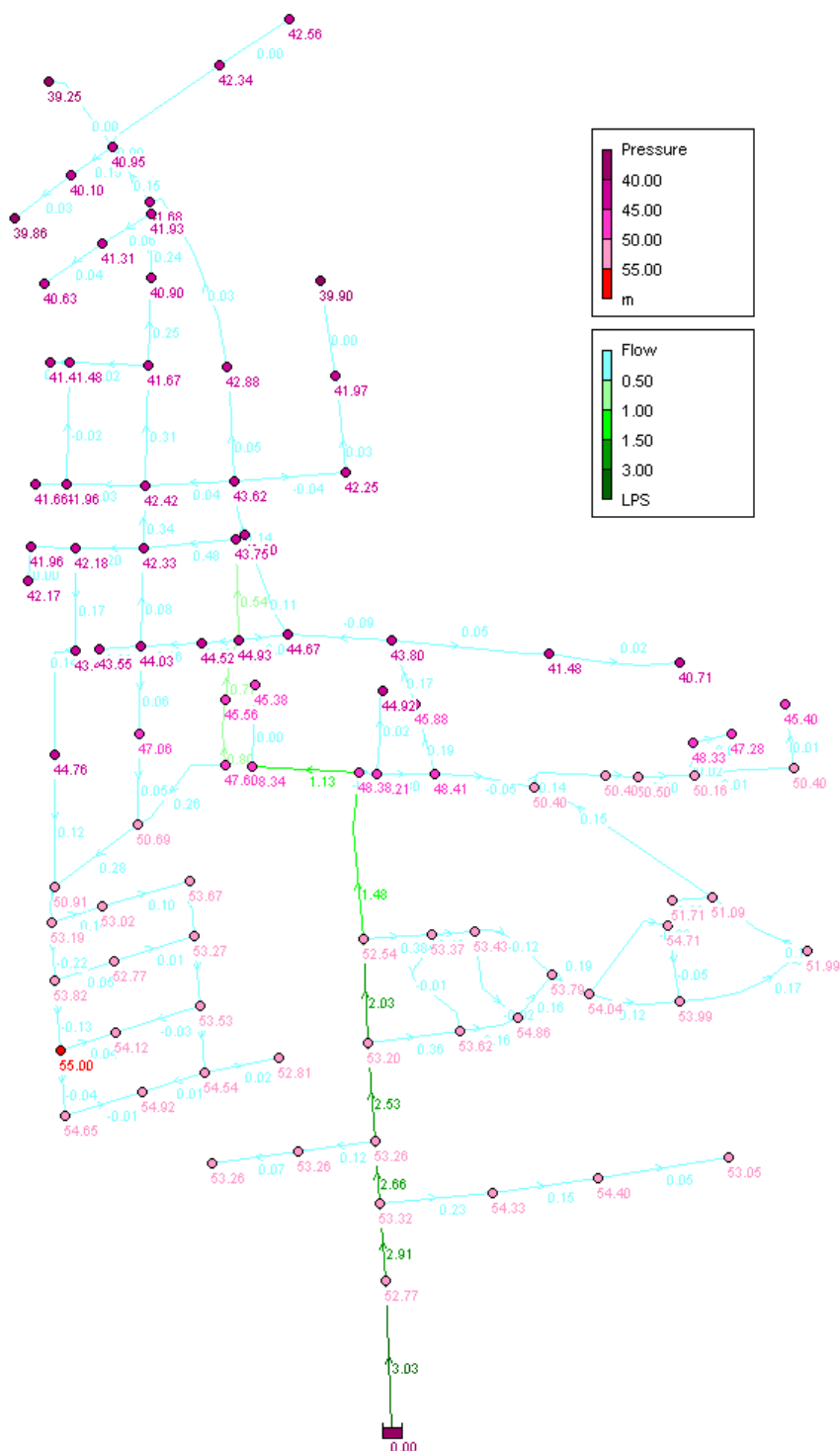


Obr. 23: Verifikační simulace vzhledem k měření z 2.9.2013.

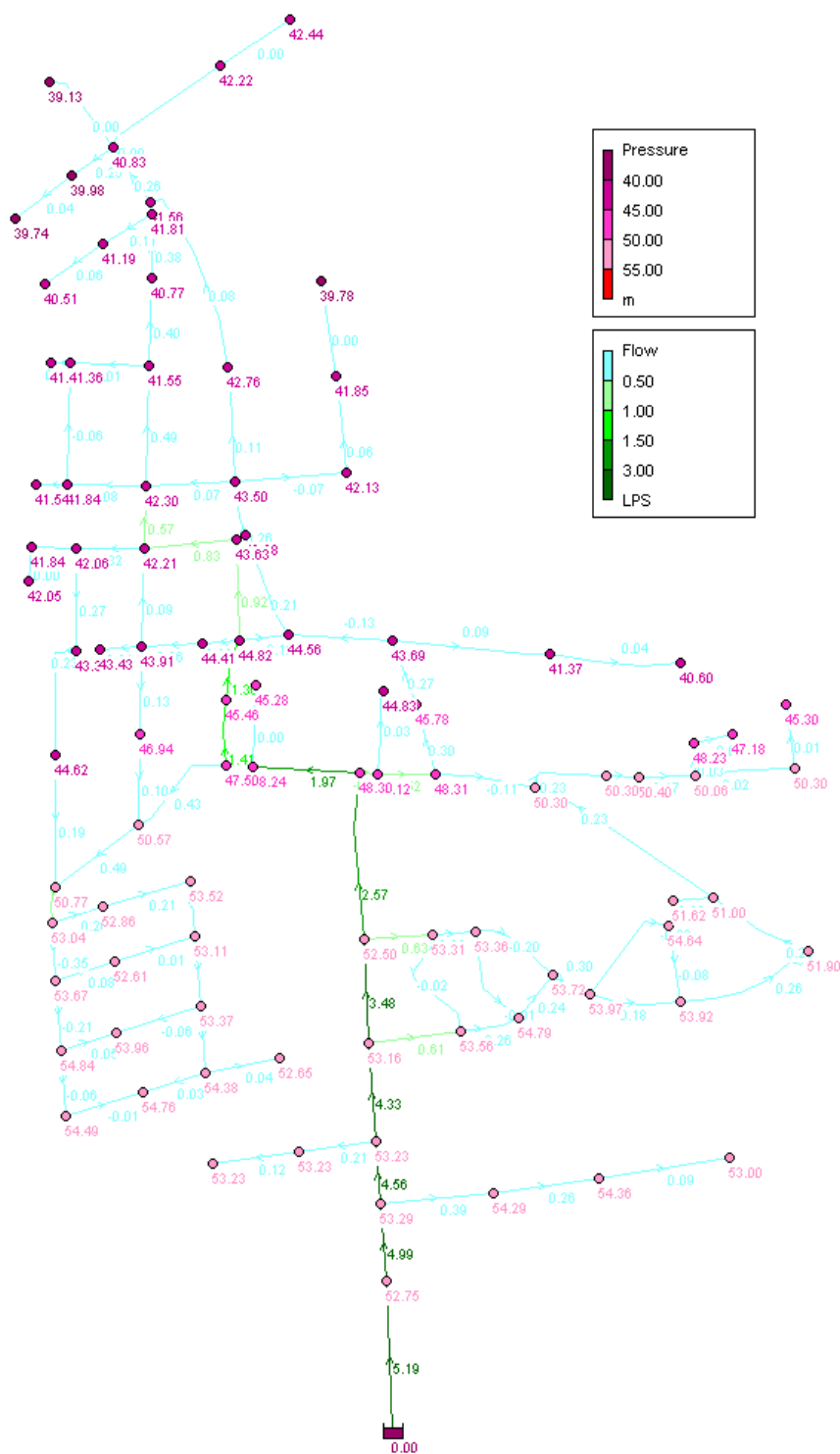


Obr. 24: Verifikační simulace vzhledem k měření z 3.9.2013.

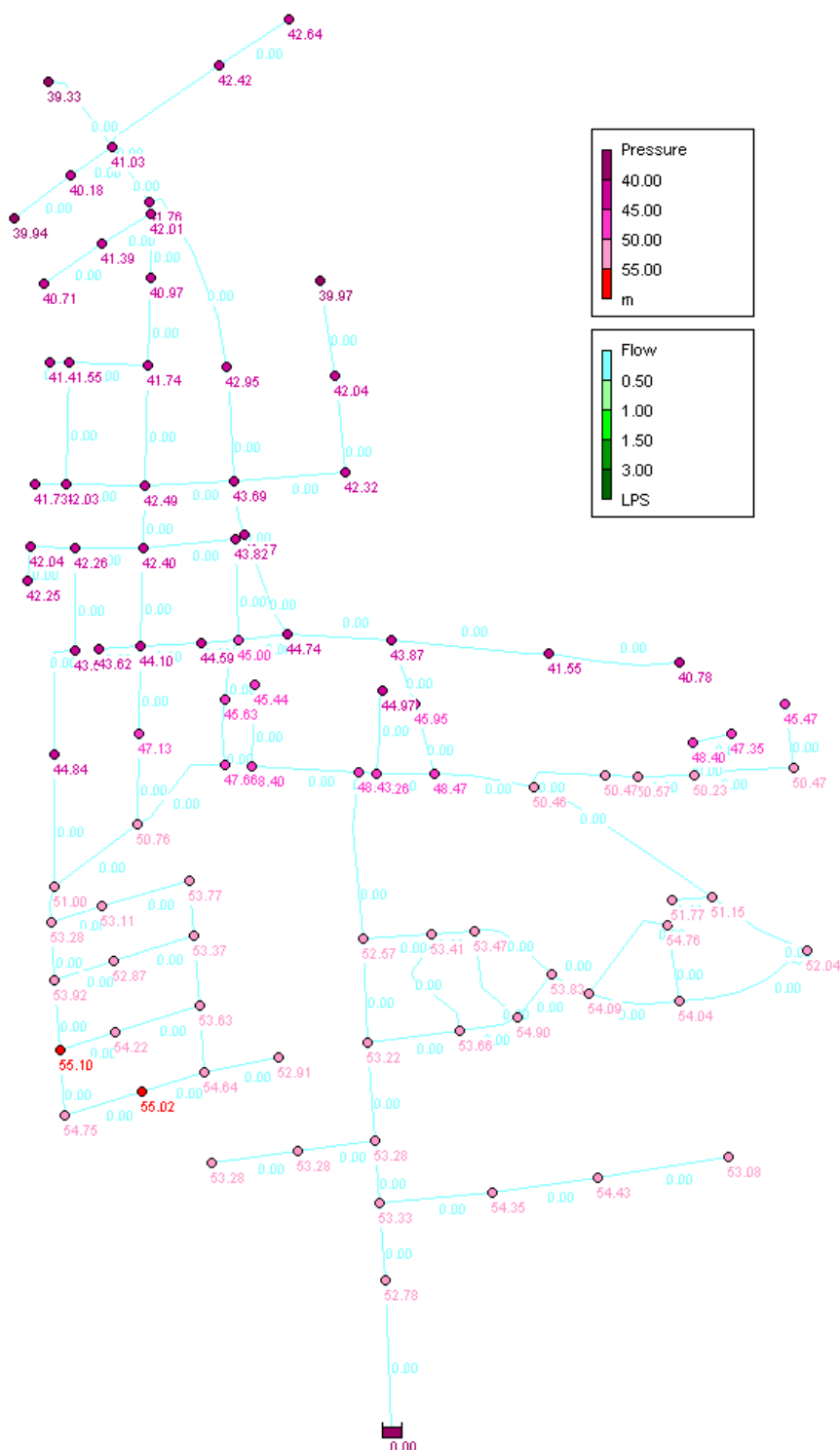
10.4 Výsledné hodnoty teoretického posouzení stávajícího stavu



Obr. 25: Okamžité průtoky a okamžité tlaky při odběru $Q_{p50} = 3,03$ l/s ve stávajícím stavu.

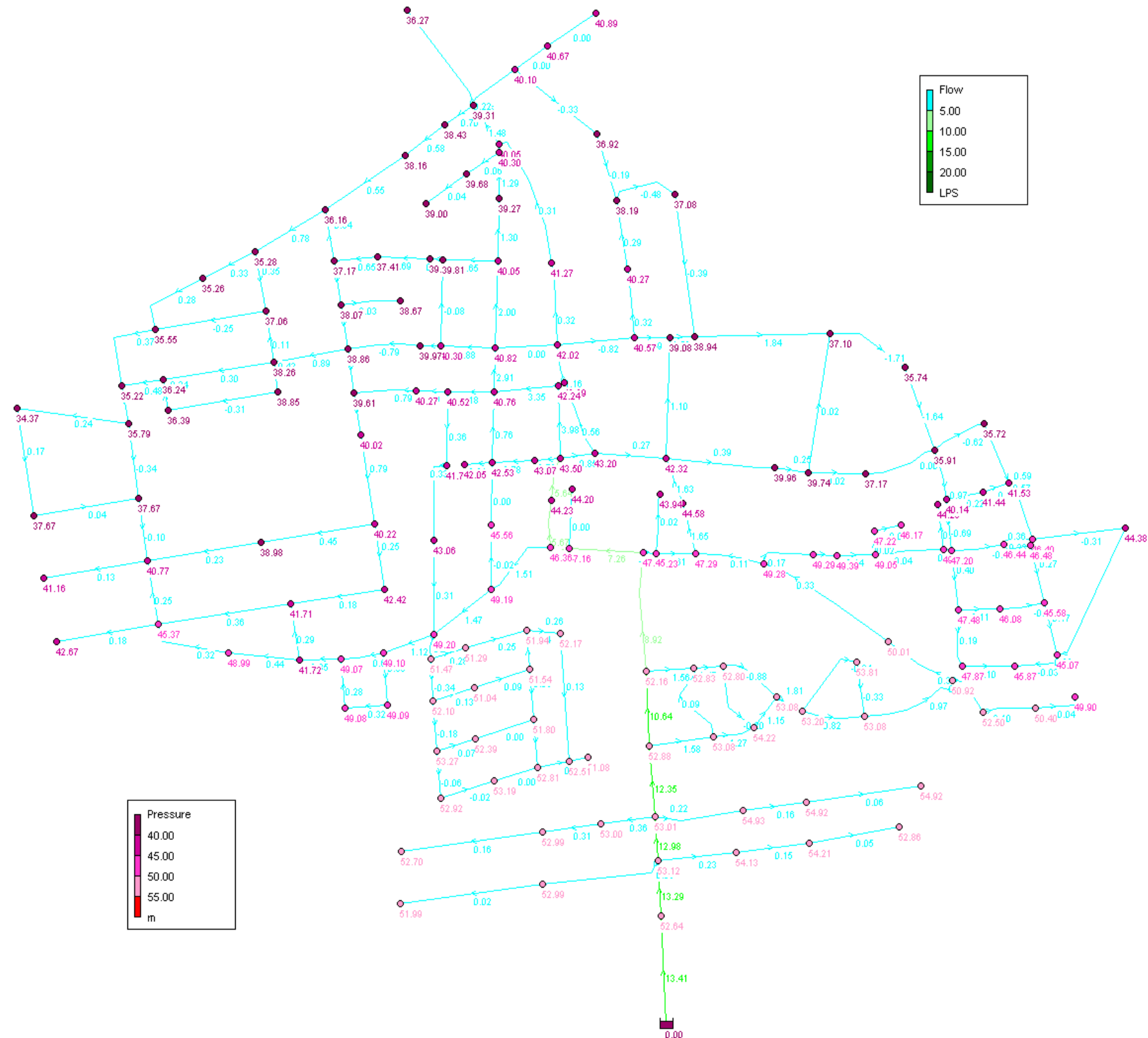


Obr. 26: Okamžité průtoky a okamžité tlaky při odběru $Q_{p95} = 5,19$ l/s ve stávajícím stavu.

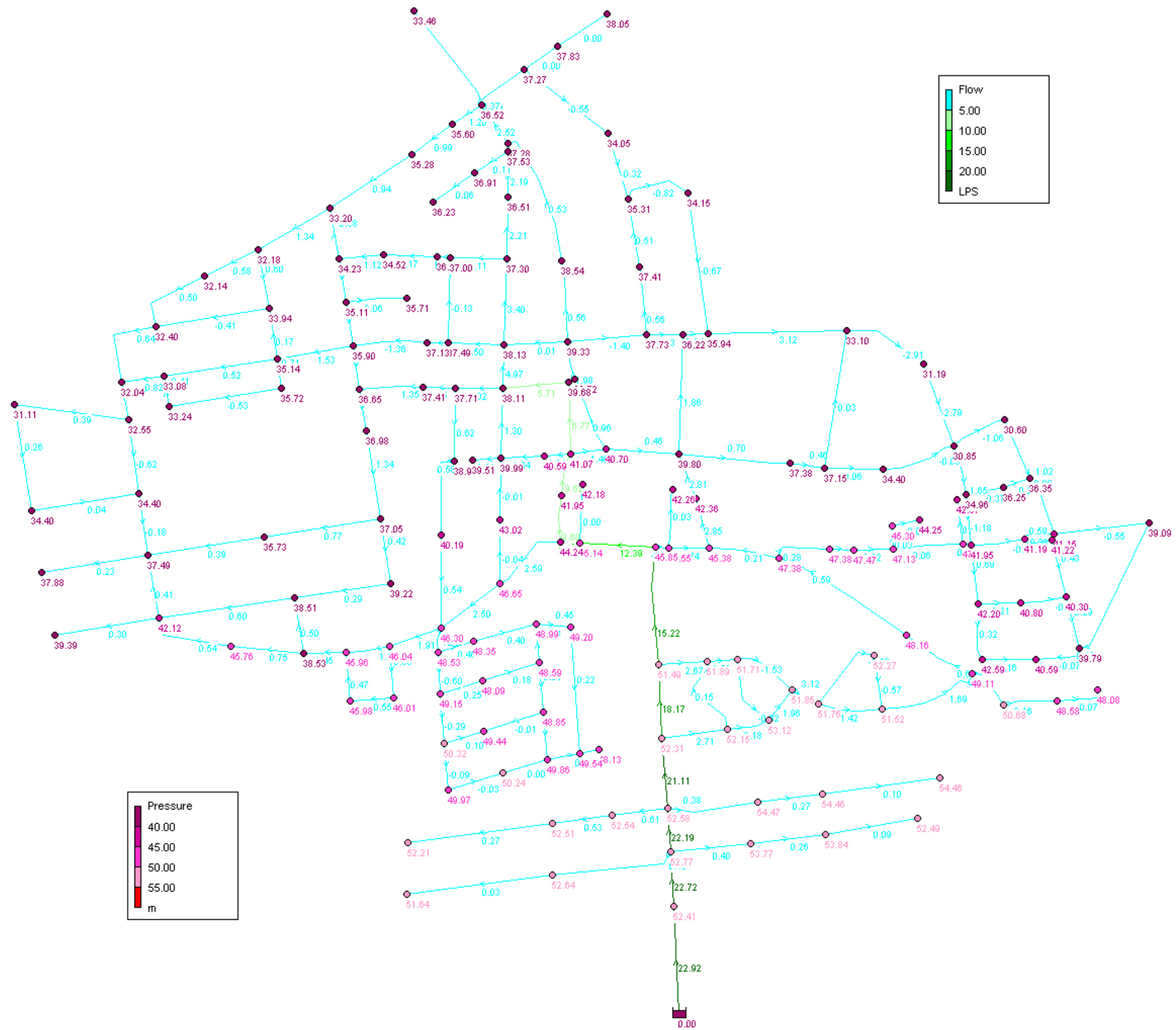


Obr. 27: Hydrostatické tlaky ve stávajícím stavu.

10.5 Výsledné hodnoty teoretického posouzení výhledového stavu



Obr. 28: Okamžité průtoky a okamžité tlaky při odběru $Q_{p50} = 13,41$ l/s ve stávajícím stavu.



Obr. 29: Okamžité průtoky a okamžité tlaky při odběru $Q_{p95} = 22,92$ l/s ve stávajícím stavu.