TECHNICKÉ A EKONOMICKÉ POSOUZENÍ VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE V SOUSTAVÁCH ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM S VÝTOPENSKÝM REŽIMEM VYUŽÍVAJÍCÍCH ZEMNÍ PLYN

Objednatel:	Ministerstvo průmyslu a obchodu Na Františku 32 110 15 Praha 1
Zastoupený:	Ing. Ladislavem Havlem, ředitelem odboru elektroenergetiky
Zhotovitel:	CITYPLAN spol. s r. o., Jindřišská 17, 110 00 Praha 1
Zastoupený:	Ing. Ivanem Benešem ve věcech smluvních
Autorský kolektiv:	Ing. David Borovský, Doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., Ing. Bořivoj Šourek

Číslo zakázky zhotovitele: 11 – 1 – 040
Datum: 30. 9. 2012

OBSAH

ÚVOD ____ 13
1 REŠERŠE INSTALACÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV V CZT V ČR A V EVROPĚ ____ 14
1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ ____ 14
1.2 ZÁKLADNÍ KONCEPCE SOUSTAV ____ 15
1.2.1 Solární soustavy pro CZT s krátkodobou akumulací ____ 18
1.2.2 Solární soustavy pro CZT s dlouhodobou akumulací ____ 19
1.3 SOLÁRNÍ KOLEKTORY ____ 21
1.4 AKUMULÁTORY TEPLA ____ 23
1.4.1 Akumulační nádrž ____ 24
1.4.2 Podpovrchový výkopový zásobník (pit) ____ 25
1.4.3 Zemní sondy ____ 27
1.4.4 Aquifer ____ 29
1.5 PŘÍKLADY REALIZACÍ ____ 30
1.5.1 Crailsheim ____ 30
1.5.2 Marstal ____ 33
1.5.3 Friedrichshafen ____ 36
1.5.4 Rostock ____ 38
2 ENERGETICKÁ ANALÝZA SOLÁRNÍCH SOUSTAV PRO CZT ____ 40
2.1 VSTUPNÍ OKRAJOVÉ PODMÍNKY ____ 42
2.1.1 Definice parametrů ____ 42
2.1.2 Odběr tepla ____ 43
2.1.3 Klimatické podmínky ____ 46
2.2 SIMULAČNÍ MODEL V TRNSYS ____ 47
2.2.1 Budova ____ 50
2.2.2 Rozvod CZT ____ 50
2.2.3 Solární kolektory a rozvod ____ 50
2.2.4 Zásobník tepla vodní ____ 51
2.2.5 Zásobník tepla zemní ____ 52
2.3 VÝSLEDKY VARIANTY VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY ____ 53
2.3.1 Varianta vytápění a příprava teplé vody s vodním zásobníkem ____ 53
2.3.2 Varianta vytápění a příprava teplé vody se zemním zásobníkem ____ 56
2.4 VÝSLEDKY VARIANTY VYTÁPĚNÍ ____ 59
2.4.1 Varianta vytápění s vodním zásobníkem ____ 59
2.4.2 Varianta vytápění se zemním zásobníkem ____ 62
2.5 VÝSLEDKY PRO VELKOU SOUSTAVU CZT – FAKTOR 10 ____ 65

2.6 VLIV ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV 66
2.6.1 Vstupní podmínky 66
2.6.2 Výsledky 67
3 ANALÝZA EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ VYBRANÝCH VARIANT 71
3.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY 71
3.1.1 Náklady na kolektorové pole 71
3.1.2 Náklady na zásobník 72
3.1.3 Náklady na připojení k CZT 73
3.1.4 Ostatní náklady 73
3.2 PROVOZNÍ NÁKLADY 73
3.3 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV 73
3.3.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla 73
3.3.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla 74
3.3.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla 75
3.3.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla 75
3.3.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla 76
3.3.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem 77
3.4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – ZEMNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV 77
3.4.1 Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla 77
3.4.2 Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla 78
3.4.3 Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla 79
3.4.4 Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla 79
3.4.5 Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla 80
3.4.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem 81
3.5 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ 81
3.5.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla 81
3.5.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla 82
3.5.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla 83
3.5.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla 83
3.5.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla 84
3.5.6 Souhrn – Vytápění s vodním zásobníkem 85
3.6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – ZEMNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ 85
3.6.1 Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla 85
3.6.2 Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla 86
3.6.3 Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla 87
3.6.4 Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla 87
3.6.5 Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla 88

3.6.6 Souhrn – Vytápění se zemním zásobníkem 89

3.7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VELKÁ SOUSTAVA CZT (FAKTOR 10) – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV 89

3.7.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla 89

3.7.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla 90

3.7.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla 91

3.7.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla 91

3.7.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla..... 92

3.7.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem 93

4 ZOBECNĚNÍ ZÁVĚRŮ 94

4.1 ENERGETICKÁ ANALÝZA 94

5 LITERATURA 99

6 PŘÍLOHY 100

6.1 SEZNAM SOLÁRNÍCH SOUSTAV S JMENOVITÝM VÝKONEM NAD 700 KW_T..... 100

6.2 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT 107

6.2.1 Energetické vyhodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění a příprava TV107

6.2.2 Energetické vyhodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění a příprava TV112

6.2.3 Energetické vyhodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění 117

6.2.4 Energetické vyhodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění..... 122

6.3 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT 127

6.3.1 Ekonomické hodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění a příprava TV . 127

6.3.2 Ekonomické hodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění a příprava TV. 132

6.3.3 Ekonomické hodnocení Varianty – Vodní zásobník – Vytápění 137

6.3.4 Ekonomické hodnocení Varianty – Zemní zásobník – Vytápění 142

6.3.5 Ekonomické hodnocení Varianty – vodní zásobník – Vytápění – FAKTOR 10 . 147

Seznam tabulek:

Tabulka 1 – Velkoplošné solární soustavy pro vytápění a chlazení v Evropě [2] 14

Tabulka 2 – Solární soustavy v CZT – ČR [1] 15

Tabulka 3 – Roční hodnoty měrných zisků a dopadající sluneční energie – Marstal [13] 35

Tabulka 4 – Provozní parametry solární soustavy ve Friedrichshafenu [9] 38

Tabulka 5 – Provozní parametry solární soustavy v Rostocku [14] 39

Tabulka 6 – Přiřazení světlosti potrubí kolektorové ploše 51

Tabulka 7 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody s vodním zásobníkem 53

Tabulka 8 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody se zemním zásobníkem 56

Tabulka 9 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění s vodním zásobníkem 59

Tabulka 10 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody se zemním zásobníkem 62

Tabulka 11 – Parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody s vodním zásobníkem (FAKTOR10 - desetinásobná potřeba tepla oproti hlavní analýze) 65

Tabulka 12 – Parametry rodinných domů sídelního celku v různém stupni energetické náročnosti 66

Tabulka 13 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v běžném standardu 68

Tabulka 14 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v nízkoenergetickém standardu 68

Tabulka 15 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v pasivním standardu 68

Tabulka 16 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 73

Tabulka 17 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 74

Tabulka 18 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 74

Tabulka 19 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 74

Tabulka 20 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 75

Tabulka 21 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 75

Tabulka 22 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 75

Tabulka 23 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 76

Tabulka 24 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 76

Tabulka 25 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 76

Tabulka 26 – Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem 77

Tabulka 27 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 77

Tabulka 28 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 78

Tabulka 29 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 78

Tabulka 30 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 78

Tabulka 31 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 79

Tabulka 32 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 79

Tabulka 33 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 79

Tabulka 34 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 80

Tabulka 35 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 80

Tabulka 36 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV) 80

Tabulka 37 – Souhrn – Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem 81

Tabulka 38 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT) 81

Tabulka 39 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT) 82

Tabulka 40 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT) 82

Tabulka 41 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT) 82

Tabulka 42 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT) 83

Tabulka 43 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT) 83

Tabulka 44 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT) 83

Tabulka 45 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT) 84

Tabulka 46 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT) 84

Tabulka 47 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT) 84

Tabulka 48 – Souhrn – Vytápění s vodním zásobníkem 85

Tabulka 49 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT) 85

Tabulka 50 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT) 86

Tabulka 51 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT) 86

Tabulka 52 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT) 86

Tabulka 53 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT) 87

Tabulka 54 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT) 87

Tabulka 55 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT) 87

Tabulka 56 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT) 88

Tabulka 57 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT) 88

Tabulka 58 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT) 88

Tabulka 59 – Souhrn – Vytápění se zemním zásobníkem 89

Tabulka 60 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 89

Tabulka 61 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 90

Tabulka 62 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 90

Tabulka 63 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 90

Tabulka 64 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 91

Tabulka 65 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 91

Tabulka 66 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 91

Tabulka 67 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 92

Tabulka 68 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 92

Tabulka 69 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV) 92

Tabulka 70 – Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem 93

Seznam grafů:

Graf 1 – Počet instalací solárních soustav v Evropě s plochou kolektorů nad 500 m^2 [2] 15

Graf 2 – Měsíční bilance solární soustavy pro CZT s krátkodobou akumulací 19

Graf 3 – Měsíční bilance solární soustavy pro CZT s dlouhodobou akumulací 20

Graf 4 – Měsíční hodnoty měrných zisků a dopadající sluneční energie – Marstal [13] 36

Graf 5 – Průběh teplot v zásobníku během nabíjecí fáze zásobníku (výstup z TRNSYS) 40

Graf 6 – Průběh solárních zisků během nabíjecí fáze zásobníku 41

Graf 7 – Uvažovaný denní a roční profil odběru teplé vody 44

Graf 8 – Roční průběh odběru tepla v rozvodu CZT (varianta vytápění a příprava TV) 45

Graf 9 – Roční průběh odběru tepla v rozvodu CZT (varianta vytápění) 45

Graf 10 – Klimatické podmínky pro Prahu (TMY) 46

Graf 11 – Křivka účinnosti a křivka modifikátoru solárního kolektoru použitého pro analýzu 51

Graf 12 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník) 53

Graf 13 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník) 54

Graf 14 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník) 54

Graf 15 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník) 55

Graf 16 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník) 57

Graf 17 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník) 57

Graf 18 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník) 58

Graf 19 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník) 58

Graf 20 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění, vodní zásobník) 60

Graf 21 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění, vodní zásobník) 60

Graf 22 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění, vodní zásobník) 61

Graf 23 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění, vodní zásobník) 61

Graf 24 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění, zemní zásobník) 63

Graf 25 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění, zemní zásobník) 63

Graf 26 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění, zemní zásobník) 64

Graf 27 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění, zemní zásobník) 64

Graf 28 – Souvislost měrných zisků a solárního pokrytí pro různě velké soustavy CZT 66

Graf 29 – Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody v CZT s budovami s různou energetickou náročností 67

Graf 30 – Souvislost návrhových parametrů (objem zásobníku, plocha kolektorů) solární soustavy pro CZT 69

Graf 31 – Měrné zisky solární soustavy pro CZT v závislosti na solárním pokrytí 69

Graf 32 – Podíl tepelných ztrát solární soustavy pro CZT 70

Graf 33 – Měrné náklady na kolektorové pole umístěné na zemi 71

Graf 34 – Měrné náklady na kolektorové pole umístěné na střeše 72

Graf 35 – Měrné náklady spojené s realizací zásobníků 72

Graf 36 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let) 77

Graf 37 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let) 81

Graf 38 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let) 85

Graf 39 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let) 89

Graf 40 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let) 93

Graf 41 – Porovnání návrhových parametrů solární soustavy s vodním zásobníkem pro variantu vytápění s přípravou TV a bez přípravy TV 94

Graf 42 – Porovnání návrhových parametrů solární soustavy se zemním zásobníkem pro variantu vytápění s přípravou TV a bez přípravy TV 95

Graf 43 – Porovnání provozních parametrů jednotlivých variant soustav 96

Graf 44 – Porovnání návratností Malá/Velká soustava s vodním zásobníkem pro ÚT a TV 97

Graf 45 – Porovnání návratností soustav s vodním a zemním zásobníkem pro ÚT a TV 97

Graf 46 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 107

Graf 47 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 107

Graf 48 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 108

Graf 49 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 108

Graf 50 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 109

Graf 51 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 109

Graf 52 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 110

Graf 53 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 110

Graf 54 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 111

Graf 55 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník) 111

Graf 56 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 112

Graf 57 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 112

Graf 58 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 113

Graf 59 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 113

Graf 60 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 114

Graf 61 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 114

Graf 62 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 115

Graf 63 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 115

Graf 64 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 116

Graf 65 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník) 116

Graf 66 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, vodní zásobník) 117

Graf 67 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, vodní zásobník) 117

Graf 68 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění, vodní zásobník) 118

Graf 69 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění, vodní zásobník) 118

Graf 70 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění, vodní zásobník) 119

Graf 71 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění, vodní zásobník) 119

Graf 72 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění, vodní zásobník) 120

Graf 73 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění, vodní zásobník) 120

Graf 74 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění, vodní zásobník) 121

Graf 75 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění, vodní zásobník) 121

Graf 76 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, zemní zásobník) 122

Graf 77 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 5 % (vytápění, zemní zásobník) ... 122

Graf 78 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění, zemní zásobník) 123

Graf 79 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění, zemní zásobník). 123

Graf 80 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění, zemní zásobník) 124

Graf 81 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění, zemní zásobník). 124

Graf 82 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění, zemní zásobník) 125

Graf 83 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění, zemní zásobník). 125

Graf 84 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění, zemní zásobník) 126

Graf 85 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění, zemní zásobník) 126

Seznam obrázků:

Obrázek 1 – Solární soustava v CZT – centrální [2] *17*

Obrázek 2 – Solární soustava v CZT – decentrální [2] *17*

Obrázek 3 – Solární soustava v CZT s krátkodobou akumulací tepla *18*

Obrázek 4 – Solární soustava v CZT s krátkodobou akumulací tepla *20*

Obrázek 5 – Kolektor jako konstrukce střešního pláště, zdroj: Gasokol/ESTIF *21*

Obrázek 6 – Soustava se sezónní akumulací v Hamburgu, zdroj: ESTIF *22*

Obrázek 7 – Vývoj ceny sezónního zásobníku podle objemu a druhu [3] *23*

Obrázek 8 – Konstrukční schéma vodního sezónního zásobníku [4] *24*

Obrázek 9 – Výstavba vodního zásobníku v Mnichově [5] *25*

Obrázek 10 – Konstrukční schéma výkopového sezónního zásobníku [4] *26*

Obrázek 11 – Výstavba výpokopového zásobníku v Eggensteinu [5] *27*

Obrázek 12 – Konstrukční schéma zemního sezónního zásobníku [4] *27*

Obrázek 13 – Propojení zemních sond v poli akumulačního zásobníku (Drake Landing) [6] *28*

Obrázek 14 – Výstavba zemního zásobníku – zavádění zemních sond [5] *29*

Obrázek 15 – Konstrukční schéma aquiferového sezónního zásobníku [4] *29*

Obrázek 16 – Model sídliště Hirtenwiesen (Crailsheim) [11] 30

Obrázek 17 – Solární soustava se sezónní akumulací tepla a tepelným čerpadlem v Crailsheimu [7] 31

Obrázek 18 – Solární kolektory instalované na protihlukovém valu v Crailsheimu [5]..... 32

Obrázek 19 – Crailsheim – realizace zemního zásobníku [5] 33

Obrázek 20 – Solární soustava v Marstalu..... 33

Obrázek 21 – Schéma zapojení soustavy v Marstalu [12] 34

Obrázek 22 – Realizace výkopového vodního zásobníku (10 000 m3) v Marstalu 35

Obrázek 23 – Výstavba sezónního zásobníku ve Friedrichshafenu [9]..... 36

Obrázek 24 – Schéma soustavy ve Friedrichshafenu [9]..... 37

Obrázek 25 – Solární kolektory instalované na střechách domů ve Friedrichshafenu [9] 38

Obrázek 26 – Schéma zapojení soustavy v Rostocku se zásobníkem aquifer [14] 38

Obrázek 27 – Půdorys obou souborů budov reprezentujících odběr tepla v analýze (zastavěná plocha vyšrafována)..... 44

Obrázek 28 – Zjednodušené schéma zapojení solární soustavy ve variantě s vodním zásobníkem 48

Obrázek 29 – Zapojení simulačního modelu v prostředí TRNSYS ve variantě s vodním zásobníkem 48

Obrázek 30 – Zjednodušené schéma zapojení solární soustavy ve variantě se zemním zásobníkem 49

Obrázek 31 – Zapojení simulačního modelu v prostředí TRNSYS ve variantě s vodním zásobníkem 49

Obrázek 32 – Příklad uspořádání vrtů pro n = 3 a n = 19..... 52

ÚVOD

V České republice je podstatná část spotřeby tepla kryta dodávkami z centrálních zdrojů prostřednictvím soustav centralizovaného zásobování teplem (CZT). Podíl dodávky z CZT pro domácnosti dosahuje podle údajů Teplárenského sdružení až 38 %. Zdrojová základna těchto soustav je tradičně orientována především na fosilní paliva. Tuzemští výrobci tepla pro CZT jsou závislí zejména na uhlí. Menší výtopenské systémy pak využívají převážně dovážený zemní plyn.

Využití solárního tepla v soustavách CZT pracujících ve výtopenském režimu neovlivňuje jejich účinnost a je jedním z možných způsobů snížení spotřeby fosilních paliv v sídelních celcích s potenciálem souvisejícím s pokračujícími evropskými snahami o naplnění závazku minimálního podílu OZE na konečné spotřebě energie. Rozvoj solárních soustav pro CZT probíhá v současnosti především v Německu, Dánsku a Rakousku. V uvedených zemích jsou provozovány různé varianty soustav ve formě demonstračních i čistě komerčních projektů (Dánsko). V ČR se solární CZT dostaly do centra pozornosti pouze v souvislosti se extrémními snahami komerční firmy nahradit v řadě obcí funkční CZT solárními soustavami se 100% solárním pokrytím vyžadujícími desítky tisíc m^2 solárních kolektorů a stovky tisíc m^3 akumulačního objemu sezónního zásobníku na instalaci.

Cílem studie je posoudit možnosti využití solárního tepla v soustavách CZT s výtopenským režimem využívajících zemní plyn, a to z hlediska energetického (účinnosti soustav, souvislost návrhových parametrů s definovaným podílem solární energie na krytí potřeby tepla) i ekonomického (investiční náklady, provozní náklady, návratnost). Posouzení předchází rešerše zahraniční literatury, shrnutí poznatků a představení několika nejznámějších příkladů realizací. Energetické posouzení je provedeno pro dvě varianty výtopenských soustav (vytápění s přípravou teplé vody, vytápění bez přípravy teplé vody). Návrhové parametry (plocha kolektorů, objem zásobníků) a provozní parametry (měrné solární zisky, účinnost akumulace, průběhy teplot v akumulaci) solární soustavy jsou analyzovány s pomocí simulačních výpočtů v prostředí TRNSYS, určeném pro dynamické výpočty složitých soustav s OZE. Ekonomické posouzení je provedeno v souladu s metodikou vyvinutou v evropském projektu SDHtake-off zabývajícím se integraci solárních soustav do CZT. Investiční náklady pro jednotlivé, níže uvedené varianty vychází z průměrných cen dosahovaných na velikostně a typově odpovídajících instalacích. Provozní náklady byly uvažovány na úrovni obvyklých hodnot dosahovaných na v současnosti fungujících soustavách. V rámci ekonomického hodnocení není uvažován vývoj ceny tepla z hlavního (stávajícího) zdroje. Výsledky jsou diskutovány a je provedeno zobecnění.

1 REŠERŠE INSTALACÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV V CZT V ČR A V EVROPĚ

1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ

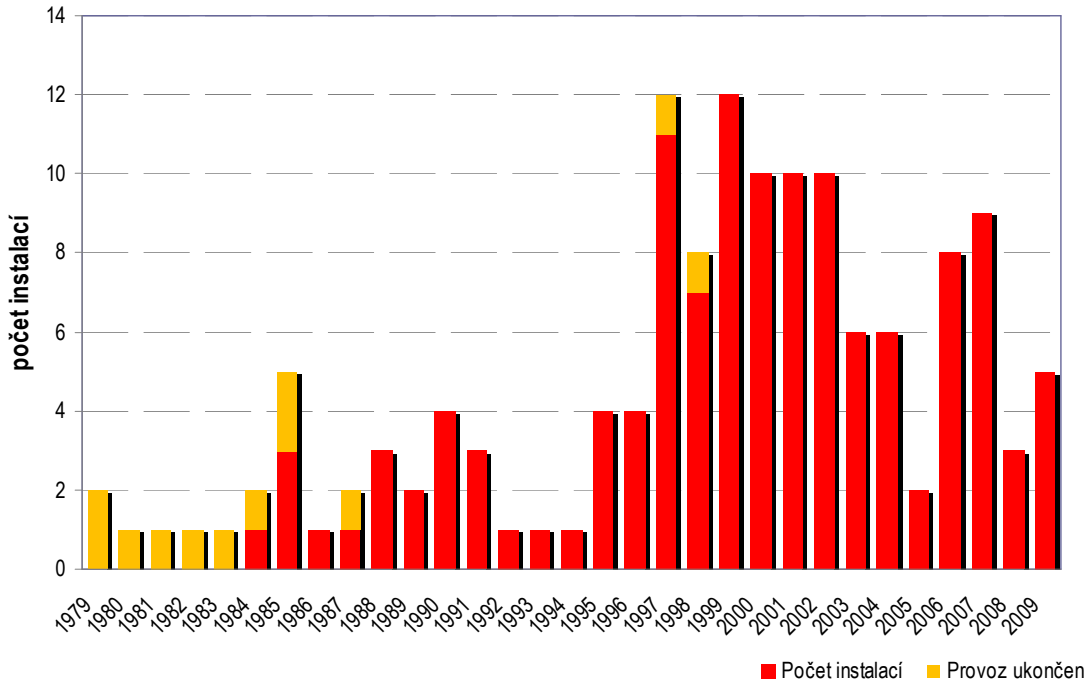
Myšlenka využití sluneční energie pro soustavy centralizovaného zásobování teplem je relativně stará. První velkoplošné solární soustavy dodávající teplo pro centralizované zásobování teplem byly zprovozněny ve Švédsku v letech 1979 a 1980 a následně v Dánsku a Nizozemí. Následný vývoj solárních soustav pro CZT probíhal v 90. letech zejména v Německu a Rakousku. Ve výše uvedených zemích jsou provozovány různé varianty soustav ve formě jak demonstračních tak komerčních projektů. V tabulce 1 je uveden přehled počtu velkých solárních soustav v jednotlivých evropských zemích. Více než dvacetileté zkušenosti s projektováním, výstavbou a provozem takových zdrojů tepla přinesly celou řadu technických, ekonomických a legislativních poznatků, které aplikovány do praxe mohou umožnit jejich podstatnější rozšíření. Zatímco zprvu šlo především o solární soustavy s malými podíly na krytí potřeby tepla, v dnešní době se stále více objevují solární soustavy pro CZT, které dosahují solárního pokrytí potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody a krytí tepelných ztrát rozvodů až do 50 %. Pouze několik takových soustav bylo realizováno v jižní Evropě, kde v současné době nabývá na významu i centralizované zásobování chladem (CZCH) a využití sluneční energie pro tyto účely. V ČR pracuje do soustav CZT pouze několik malých soustav v řádu desítek m^2 kolektorové plochy [1], viz tabulka 2.

Tabulka 1 – Velkoplošné solární soustavy pro vytápění a chlazení v Evropě [2]

Země	První	V provozu	Provoz ukončen	Kolektory na terénu	Kolektory na střechách	Druh zásobníku
Švédsko	1979	20	10	13	17	xZ, DZ, SZ
Dánsko	1988	16	-	16	-	xZ, DZ, SZ
Německo	1993	18	1	-2	19	DZ, SZ
Rakousko	1980	16	2	2	16	xZ, DZ
Nizozemí	1985	8	1	-	8	DZ, SZ
Švýcarsko	1995	7	-	1	6	DZ, SZ
Španělsko	1999	13	-	1	12	DS
Řecko	1986	14	-	1	13	DS
Itálie	2002	3	-	-	3	DS
Francie	1999	3	-	-	3	DS
Polsko	2004	3	-	-	3	DS
Ostatní		6	1		7	

Pozn.: : xZ – bez zásobníku, DZ – denní zásobník, SZ – sezónní zásobník

Graf 1 – Počet instalací solárních soustav v Evropě s plochou kolektorů nad 500 m^2 [2]



Značný rozvoj solárních soustav pro CZT zažívá v současnosti především Dánsko. Začátkem roku 2011 byly do běžného provozu uvedeny soustavy v Ringkøbingu (15 000 m²) a v Jægerspris (10 000 m²). Rostoucí zájem o velké solární zdroje tepla ve skandinávských zemích obecně je způsoben vhodnou konstelací faktorů, jejichž vliv na výsledná rozhodnutí investorů je zásadní. Jedná se zejména o relativně vyšší daňové zatížení fosilních paliv, jež obecně obnovitelné zdroje energie zvýhodňuje a cenovou i legislativní dostupnost pozemních ploch pro instalaci solárních kolektorů.

Tabulka 2 – Solární soustavy v CZT – ČR [1]

Provozovatel	Rok spuštění	Adresa	Plocha kolektorů	Typ kolektoru
[-]	[-]	[-]	[m^2]	[-]
TEREA Cheb s.r.o.	1997	B. Němcové 11, Cheb	90	ploché
TEREA Cheb s.r.o.	2002	Palackého 16, Cheb	60	ploché
TEPO s.r.o.	2003	Vodárenská, Kladno	24	vakuové trubkové
TEPO s.r.o.	2004	Kladno – Rozdělov	24	ploché
ČEZ Teplárenská, a.s.	-	Nové Ervěnice	66	ploché
SATE Hulín, s.r.o.	2007	Družba 1198, Hulín	209	ploché

1.2 ZÁKLADNÍ KONCEPCE SOUSTAV

Systémy centralizovaného zásobování teplem sestávající z centrálního zdroje tepla, rozvodné sítě a domovních předávacích stanic se obecně vyznačují technickou možností snadné změny palivové základny centrálního zdroje bez vynaložení nákladů na rekonstrukce v připojených objektech. Solární soustavy pro CZT pracují na podobném principu. Teplo získané ze solárních

kolektorů je primárním okruhem přivedeno k centrálnímu zdroji s určitou akumulací tepla, odkud je předáváno dále do sítě CZT. Teplo rozváděné distribuční sítí CZT je v domovních předávacích stanicích využito pro přípravu teplé vody a vytápění budov. Pokud tepelné zisky ze solárních kolektorů nestačí pro pokrytí spotřeby tepla, zapíná se centrální zdroj tepla, zpravidla plynový kotel.

Solární soustavy pro CZT lze rozdělit do několika kategorií s různým stupněm pokrytí celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění:

- **bez akumulace tepla**

Solární tepelné zisky se akumulují v objemu rozvodů celé sítě. Plocha solárních kolektorů je navržena na trvalou potřebu tepla sítě CZT. Solární pokrytí potřeby tepla se pohybuje zhruba do 5 %.

- **s krátkodobou (denní) akumulací**

Nárazníkový akumulátor slouží pro akumulaci nejvýše několikadenních zisků. Plocha solárních kolektorů se navrhuje na krytí letní potřeby tepla na přípravu teplé vody. Návrhové solární pokrytí se pohybuje od 10 do 20 % celkové potřeby tepla na přípravu teplé vody a vytápění.

- **s dlouhodobou (sezónní) akumulací**

Velkoobjemové sezónní zásobníky slouží pro akumulaci letních solárních zisků a jejich přenesení do zimního období pro krytí potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Návrhové solární pokrytí se pohybuje zhruba do 50 % celkové potřeby tepla. Dosažení vyšších solárních pokrytí je doprovázeno nadměrným nárůstem investičních nákladů a ceny solárního tepla.

Podle způsobu přívodu solárních zisků do rozvodu CZT lze ještě rozlišit solární soustavy:

- **centrální**

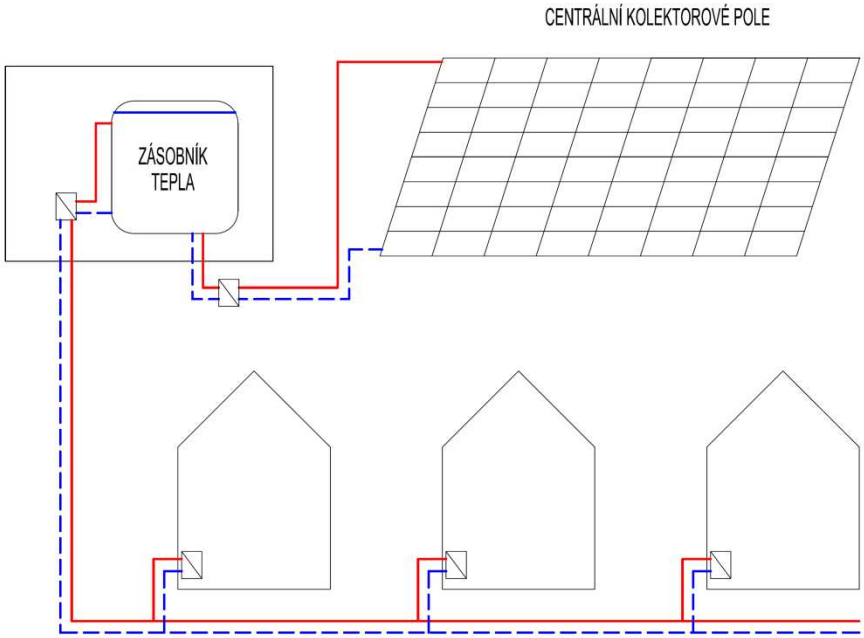
Solární soustava pracuje jako doplněk vlastního centrálního zdroje tepla. Tepelné zisky z kolektorových polí, umístěných buď na pozemku v těsné blízkosti zdroje, nebo na střechách přilehlých objektů, jsou vedeny do objektu centrální kotelny, odkud je tepelná energie dále distribuována standardně dálkovým rozvodem (viz obrázek 1). V případě řešení s kolektory umístěnými na okolních budovách roste zpravidla podíl tepelných ztrát v rozvodech a investiční náklady instalace, což má vliv na výslednou ekonomiku provozu soustavy.

- **decentrální**

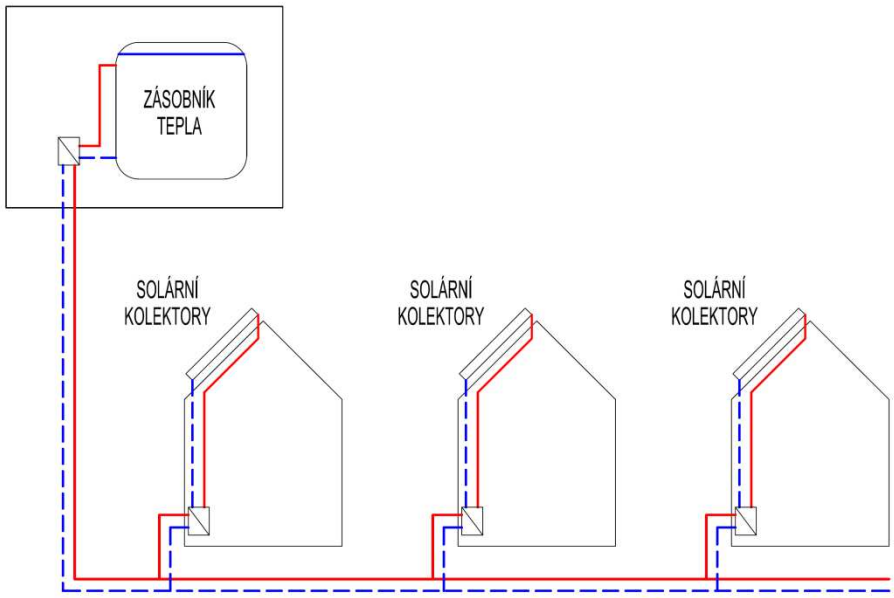
Solární soustava je provozována primárně pro účely krytí potřeby tepla v místě instalace, např. v budově, avšak je zároveň propojena do primárního rozvodu CZT a v případě přebytečných tepelných zisků dodává teplo do sítě (viz obrázek 2). V tomto případě je obvykle využíváno akumulačních schopností samotných rozvodů tepla a při vhodném dimenzování není zapotřebí instalace velkoobjemových zásobníků.

Zatímco v prvním případě je solární soustava obvykle majetkem provozovatele centrálního zdroje tepla, decentrální typ soustav bývá připojen do rozvodu zásobování teplem na základě smluvního vztahu, který určuje podmínky provozu soustavy a výkupu tepelné energie.

Obrázek 1 – Solární soustava v CZT – centrální [2]



Obrázek 2 – Solární soustava v CZT – decentrální [2]



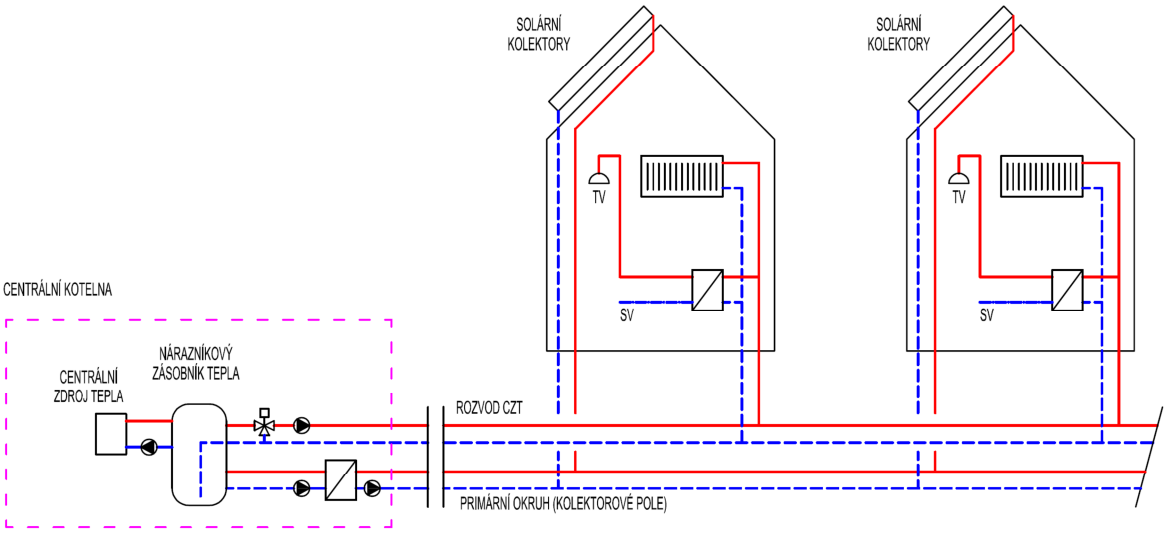
Decentrální dodávka solárního tepla do sítě CZT je obdobou výkupu elektrické energie z decentrálních solárních elektráren na střechách domů. Teplo je obtížné účinně přenášet na velké vzdálenosti, proto je tento způsob vhodný pouze do hustě osídlených celků, navíc v soustavách

provozovaných ve výtopenském režimu. Solární teplo spoří palivo provozovateli centrálního zdroje. Cena vykupovaného tepla se odvíjí od ceny vyráběného tepla. Decentrální soustavy pro CZT pracují např. ve Švédsku nebo Rakousku.

1.2.1 Solární soustavy pro CZT s krátkodobou akumulací

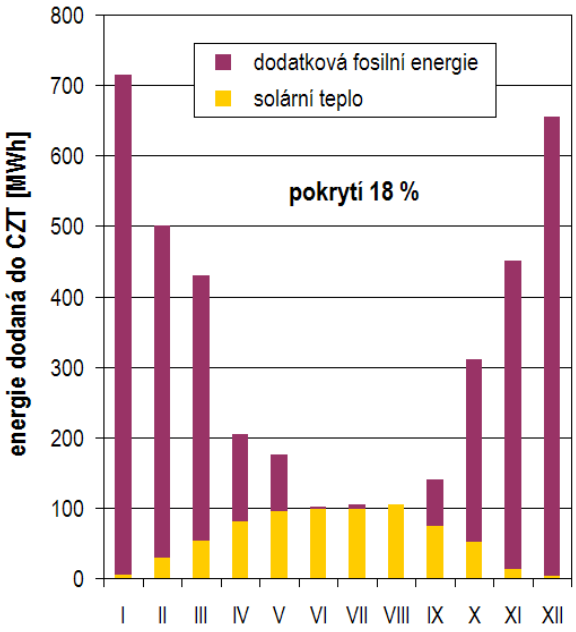
Solární soustavy pro centralizované zásobování teplem bez akumulace nebo s krátkodobou akumulací (denní akumulace) lze využít především pro dodávku tepla v aplikacích s vysokou konstantní spotřebou tepla, tj. hotelových komplexů, nemocnic nebo do velkých sídlištních celků. Schéma hydraulického zapojení takové soustavy je uvedeno na obrázku 3. Soustavy jsou navrhovány na pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody v letním období (jasný den v červenci nebo srpnu) z 80 až 100 % (viz graf 2). Celoroční solární pokrytí přípravy teplé vody je potom cca 50 %, pokrytí celkové potřeby tepla se pohybuje mezi 10 a 20 %. Návrhové hodnoty kolektorové plochy se pohybují od 0,8 do 1,2 m^2 na osobu. Objem vodního zásobníku pro krátkodobou akumulaci se navrhuje od 50 do 100 l/m^2 plochy kolektorů. Typické dosahované tepelné zisky jsou 350 až 500 kWh/(m^2.rok). Předimenzování solární soustavy nad uvedené návrhové hodnoty vede ke snížení měrného ročního tepelného zisku a ekonomické návratnosti solární soustavy.

Obrázek 3 – Solární soustava v CZT s krátkodobou akumulací tepla



Velkou výhodou velkoplošných solárních soustav s krátkodobou akumulací jsou jejich ekonomické parametry. Cena solárního tepla je díky velmi nízkým systémovým nákladům zhruba 2 až 3 x nižší než u maloplošných solárních soustav pro rodinné domy. Měrné investiční náklady velkých soustav se pohybují okolo 12 000 Kč/m^2 kolektorové plochy, zatímco u malých jsou od 25 000 Kč/m^2 výše.

Graf 2 – Měsíční bilance solární soustavy pro CZT s krátkodobou akumulací



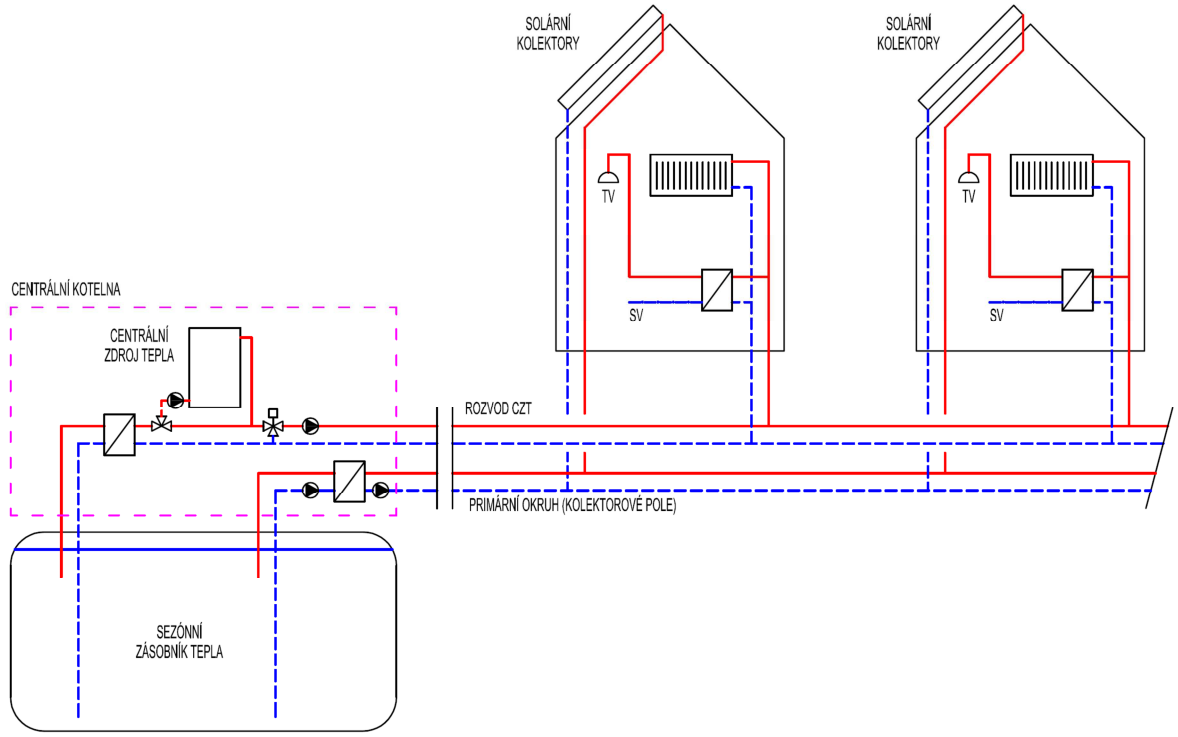
Ze zkušenosti na zahraničních realizacích lze odvodit cenu vyrobeného solárního tepla solárních soustav pro CZT s krátkodobou akumulací na úrovni 0,08 až 0,15 EUR/kWh, což odpovídá 550 až 1200 Kč/GJ při pokrytí do 15 %. Technicky osvědčený koncept s krátkodobou akumulací je v současnosti v podstatě nabízen na komerční bázi (Rakousko, Německo, Dánsko). Nicméně, očekává se další vývoj směrem k lepším provozním parametrům (systémové řešení, regulace) a ke snížení měrných nákladů na kolektorová pole (solární střechy) a akumulaci.

1.2.2 Solární soustavy pro CZT s dlouhodobou akumulací

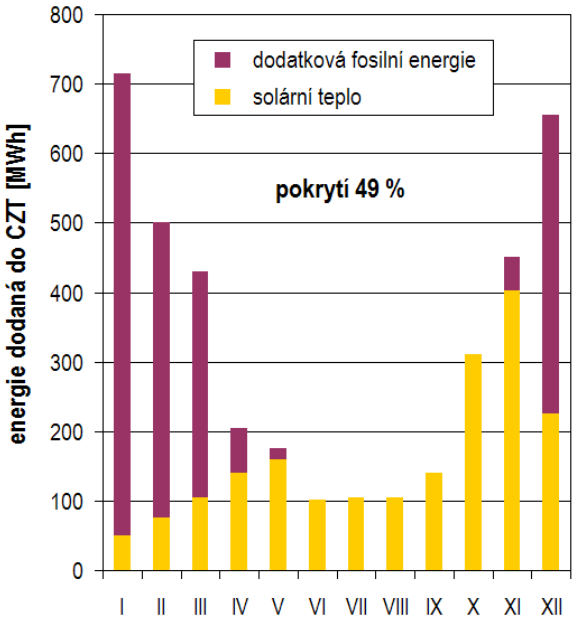
Solární soustavy pro centralizované zásobování teplem se sezónní akumulací tepla jsou určeny pro úrovně solárního pokrytí spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody během roku okolo 50 % a více. Solární soustava se sezónní akumulací vyrovnává nesoulad mezi nízkou úrovní solárních zisků kolektorů v zimním období a vysokými úrovněmi v létě a zajišťuje jejich mezisezónní skladování. V grafu 3 je uveden příklad typické energetické bilance pro solární soustavu pro CZT. Sezónní zásobník umožňuje výrazné zvýšení pokrytí v měsících první části otopného období.

Na obrázku 4 je uvedeno hydraulické zapojení solární soustavy pro CZT s dlouhodobou akumulací. Teplo ze solárních kolektorů se předává do centrálního zdroje tepla se sezónním akumulátorem. Solární zisky mohou být využity přímo v síti, pokud potřeba, nadbytečné teplo se ukládá do sezónního akumulátoru. Zásobník se nabíjí až na maximální hodnoty (80 až 95 ℃). V zimním období je teplo ze zásobníku dodáváno do rozvodu CZT. Centrální zdroj tepla (plynový kotel, kotel na biomasu, apod.) slouží jako záloha v případě nedostatečné výstupní teploty ze sezónního zásobníku.

Obrázek 4 – Solární soustava v CZT s krátkodobou akumulací tepla



Graf 3 – Měsíční bilance solární soustavy pro CZT s dlouhodobou akumulací



Budovy jsou na rozvod CZT napojeny domovními předávacími stanicemi pro přípravu teplé vody, případně i pro vytápění (tlakové nezávislé připojení). Zatímco pro vytápění lze při úsporných opatřeních v připojených domech lze zajistit otopnou vodou o nízké provozní teplotě, příprava teplé vody vyžaduje minimální teploty přívodní vody v CZT 60 až 65 ℃. Na druhé straně pro zajištění vysoké provozní účinnosti kolektorů a maximálního využití tepelné kapacity zásobníku je zásadní

udržet teplotu vratné otopné vody v CZT pod 40 °C během roku. Nízká teplota vratné vody umožňuje také udržení tepelných ztrát zásobníku tepla na přiměřeně nízké úrovni.

Pro návrh soustavy s dlouhodobou akumulací je nutné použít simulační programy. Typické dosahované tepelné zisky jsou 200 až 350 kWh/(m^2.rok). Cena solárního tepla se odvíjí od úrovně solárního pokrytí. Pro hodnoty pokrytí do 50 % se cena tepla v realizovaných soustavách pohybuje mezi 0,17 až 0,40 EUR/kWh, což odpovídá 1200 až 2800 Kč/GJ.

1.3 SOLÁRNÍ KOLEKTORY

Pro velkoplošné aplikace přicházejí v úvahu v podstatě tři koncepce realizace kolektorového pole na střechách budov:

- instalace běžných maloplošných kolektorů (ploché, trubkové) pospojovaných přímo na střechách budov;
- instalace velkoplošných kolektorů (8 až 12 m^2) výhodně integrovaných do střešní krytiny, zvláště v případech novostaveb;
- konstrukce střechy tvořená průmyslově prefabrikovanými střešními moduly obsahujícími částečně konstrukci střechy, tepelnou izolaci a solární kolektor – moduly se kladou přímo na krokve, nebo krokve již obsahují, stavba střechy, instalace a připojení kolektoru jsou tak s použitím jeřábu prováděny současně a velmi rychle.

Obrázek 5 – Kolektor jako konstrukce střešního pláště, zdroj: Gasokol/ESTIF

V naprosté většině instalací solárních soustav CZT se používají ploché velkoplošné kolektory s jedním zasklením, případně doplněným teflonovou fólií, která rozděluje vzduchovou mezeru mezi absorbérem a krycím zasklením pro snížení tepelné ztráty. Takové kolektory je možné použít i pro

vyšší teplotní úroveň rozvodu CZT (až 90 ℃). Některé instalace využívají vakuové trubkové kolektory.

Obrázek 6 – Soustava se sezónní akumulací v Hamburgu, zdroj: ESTIF

Ve skandinávských zemích, pokud jsou k dispozici volné plochy, se velkoplošná pole solárních kolektorů instalují především z ekonomických důvodů přímo na terénu poblíž výtopny. Naproti tomu, v západních zemích střední Evropy vzhledem k vysoké ceně pozemků, zmenšující se volné (zatím nevyužité) ploše zvláště v zastavěných oblastech a díky péči o zbylou krajinu nelze kolektorová pole zpravidla řešit jinak než přednostně na střechách zásobovaných objektů, střechách parkovišť nebo jinak nevyužitých plochách (protihlukové náspy, brownfieldy). V poslední době se tento trend přesouvá i do Skandinávie.

Zkušenosti z překotného vývoje velkoplošných fotovoltaických instalací na zemědělské půdě v ČR v letech 2008 až 2010 poukázaly na neslučitelnost pozemních instalací zdrojů ekologické energie se snahami o zachování přírodních podmínek a krajinného rázu. Postoj veřejnosti je v tomto ohledu jednoznačný: kolektory patří na střechy.

Solární soustavy s velkými kolektorovými poli jsou provozovány při nízkém průtoku (low flow soustavy) v rozsahu 10 až 20 l/(h.m^2) za účelem snížení světlosti potrubí kolektorového okruhu a objemu teplonosné kapaliny. S tím souvisí i nižší tepelné ztráty solární soustavy a spotřeba elektrické energie pro pohon oběhových čerpadel. Vlastní solární kolektory se výhodně propojují do řad v sérii, aby byly provozovány v oblasti vysokých průtoků, za kterých byly zkoušeny a certifikovány. Je proto nezbytné používat solární kolektory s lyrovým absorbérem a malou tlakovou ztrátou. Jednotlivé řady se potom spojují paralelně, správné zatékání do kolektorových řad zajišťují zpravidla vyvažovací armatury.

1.4 AKUMULÁTORY TEPLA

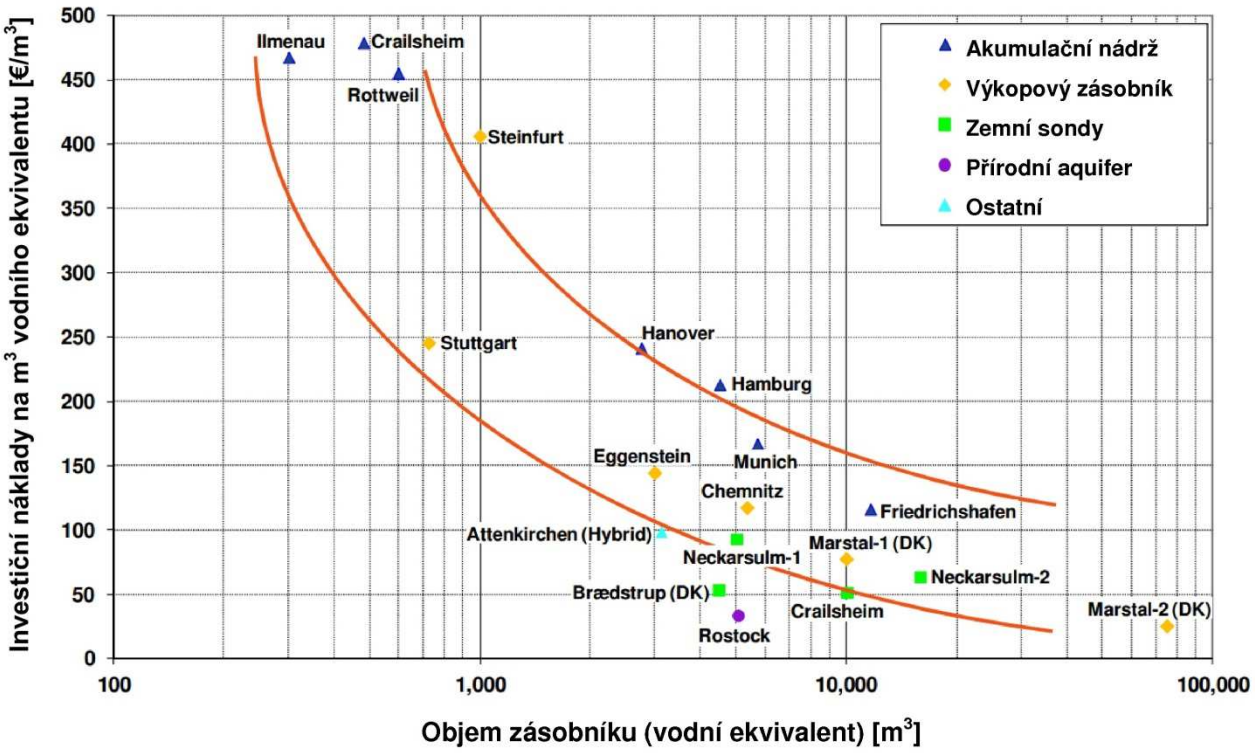
Soustavy s nízkým solárním pokrytím využívají pro akumulaci tepla rozvody sítě CZT v některých případech mohou být vybaveny malými zásobníky, které umožňují stabilní provoz solární soustavy. V soustavách využívajících denních zásobníků tepla bývají obvykle používány teplovodní akumulační nádoby (ocelové, plastové).

Sezónní akumulátory tepla vyrovnávají nesoulad mezi obdobím zvýšené spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody (zima) a obdobím s výraznými dávkami slunečního ozáření (léto). Solární soustavy se sezónní akumulací mohou využívat čtyř základních druhů zásobníků tepla:

- akumulační nádrž (vodní zásobník);
- výkopový zásobník (podpovrchový vodní nebo štěrkovodní zásobník);
- zásobník se zemními sondami;
- přírodní aquifer (zvodněné podloží).

Značnou část investičních nákladů u velkoplošných solárních soustav s dlouhodobou akumulací činí sezónní akumulátor tepla. Nejlevnějšími zásobníky jsou zemní sondy a aquifery, avšak vyžadují také největší prostor. Na obrázku 5 jsou uvedeny investiční náklady na realizované velké sezónní zásobníky tepla. Objem zásobníku je vynesen jako vodní ekvivalent jejich akumulační kapacitě.

Obrázek 7 – Vývoj ceny sezónního zásobníku podle objemu a druhu [3]



V podstatě všechny druhy sezónních zásobníků se realizují pod povrchem terénu. Výběr optimálního druhu zásobníku je individuální podle místních hydrogeologických podmínek

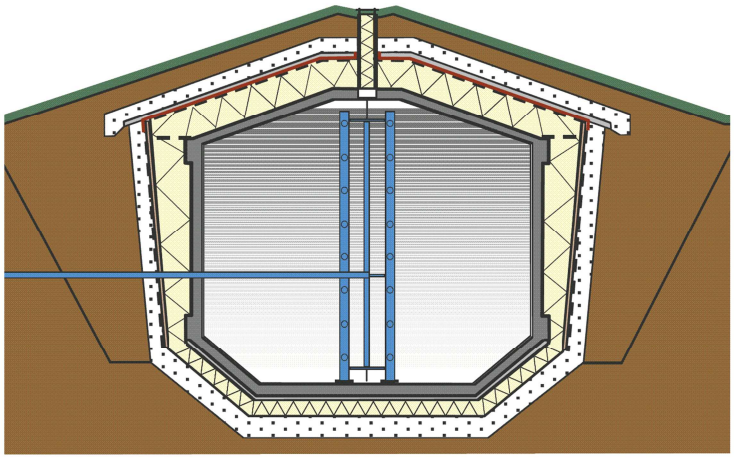
v zemském masivu a podle použití zásobníku. Odlišné hydrogeologické podmínky v různých zemích určují preferované způsoby řešení akumulátorů tepla, např. v Nizozemí s vysokou hladinou spodní vody je problematické zakopávat betonové zásobníky tepla, nicméně v řadě oblastí je výhodné využít zvodněných vrstev (aquiferů). Především dva posledně zmíněné druhy zásobníků vyžadují velmi dobrou znalost hydrogeologické situace v místě instalace a rozsáhlejší průzkum. Souhlas vodohospodářského úřadu musí být získán již v raném stádiu projektu. Pro dobrou funkci zásobníků na bázi sond a aquiferů je nutné vzhledem k obtížnému izolování snížit teplotu vratné vody z CZT, případně použít tepelných čerpadel.

Sezónní akumulátory mají různě dlouhou rozběhovou dobu než začne běžný ustálený provoz. V prvních letech nabíjení ze studeného stavu se dosahují optimistické výsledky z hlediska tepelných zisků solárních kolektorů, avšak pokrytí spotřeby tepla je minimální. Během natápění sezónních akumulátorů v prvních letech provozu se výrazná část tepla „spotřebuje“ kromě zvýšení teploty v samotném akumulačním objemu z počáteční teploty na provozní teplotu i na zvýšení teploty v zemském masívu v okolí zásobníku. Trvalý provozní stav solární soustavy (obdobné charakteristiky nabíjení a vybíjení) se dosahuje zpravidla po několika letech. V závislosti na typu sezónního akumulátoru se doba rozběhová fáze pohybuje od 3 (vodní nádrže) do 8 let (zemní sondy, aquifery).

1.4.1 Akumulační nádrž

V podstatě se jedná o známý koncept vodního akumulátoru, pouze v daleko větších rozměrech (tisíce m^3) než se používá v běžných aplikacích. Voda poskytuje vynikající akumulační a přenosové vlastnosti. Zásobník je zcela nebo částečně zakopán pod úroveň zemského povrchu, aby se omezily prostorové nároky.

Obrázek 8 – Konstrukční schéma vodního sezónního zásobníku [4]



Stěny akumulátoru jsou zpravidla z vyztuženého betonu nebo kompozitu. Aby se zamezilo difúzi vodní páry stěnami zásobníku a tím tepelným ztrátám zásobníku, je na vnitřní straně stěny použit jako parozábrana ocelový plech (tl. 1 až 2 mm) nebo se použije vysokohustotní beton (bentonit) s velmi nízkou propustností vodní páry. Svislé stěny a horní část jsou tepelně izolovány (tloušťky izolace 20 až 30 cm), spodní část zásobníku (dno) se zpravidla neizoluje. Tepelná izolace

by jednak musela odolat velmi vysokým tlakům a na druhé straně by se ve spodní části zásobníku mělo dosahovat výrazně nižších teplot než v horních úrovních. Z vnější strany tepelné izolace je jako hydroizolace použit vysokohustotní polyetylen (HDPE) nebo polyvinylchlorid (PVC). Složitá konstrukce stěny vede k relativně vysokým investičním nákladům. Jako ochrana izolace proti vniknutí vlhkosti se okolo zakopaného zásobníku se provádí drenáž o odčerpávání průsakové spodní vody. Hloubka zásobníku se pohybuje okolo 20 m, průměr několik desítek metrů. Strop zásobníku je z pevné konstrukce jako klenba nebo s podpůrnými piloty.

Akumulační schopnost vodního zásobníku je mezi 60 až 80 kWh/m^3. Betonové akumulační nádrže se z ekonomických důvodů používají minimálně od objemu 1000 m^3. Velikosti vodních zásobníků vybudovaných v realizovaných solárních soustavách pro CZT se pohybují od 2750 m^3 (Hannover) po 12 000 m^3 (Friedrichshafen). Na obrázku 9 je znázorněna výstavba velkoobjemové akumulační nádrže v Mnichově v roce 2007.

Obrázek 9 – Výstavba vodního zásobníku v Mnichově [5]

1.4.2 Podpovrchový výkopový zásobník (pit)

Vzhledem k nízkým investičním nákladům a jednoduchosti konstrukce oproti ostatním konstrukčním druhům je často preferován výkopový zásobník (viz obrázek 10) Oproti betonovým vodním zásobníkům má výkopový zásobník zhruba o 30 % nižší měrné náklady. Výkop ve tvaru komolého hranolu s hloubkou do 5 m se vystele nepropustnou (hydroizolační) plastovou fólií. Akumulační objem tvoří voda nebo kombinace vody a štěrku (60 až 70 %, rozměr 15 až 30 mm). Štěrk sice zajišťuje nosnost objemu, avšak snižuje akumulační schopnost zásobníku. Zatímco vodní zásobník má tepelnou kapacitu 60 až 80 kWh/m^3, štěrkovodní pouze 30 až 40 kWh/m^3. Pro kombinaci štěrk-voda je tedy nutné vybudovat o cca 50 % větší zásobník oproti vodnímu se

stejnou tepelně akumulační schopností. Horní tepelně izolační zaklopení zásobníku může být tvořeno buď nosnou konstrukcí nebo nenosnou plovoucí po hladině.

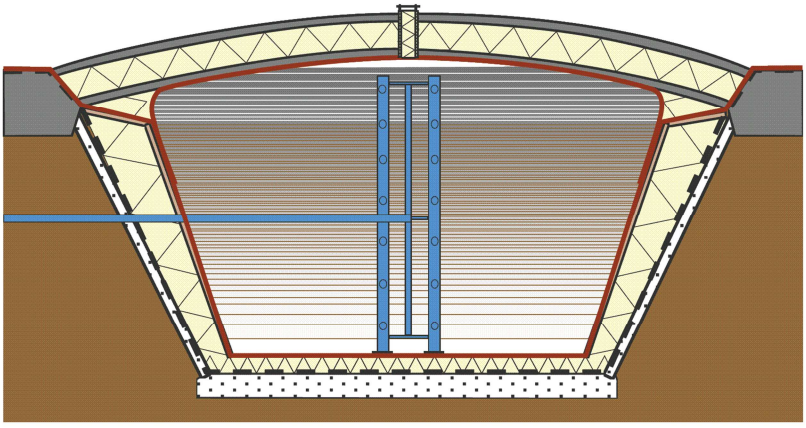
U štěrko-vodních zásobníků může být nabíjení a vybíjení realizováno:

- **přímo otopnou vodou** – systém vyžaduje vodní šachty s čerpadly umístěnými alespoň 3 m pod vodní hladinou zásobníku z důvodu eliminace kavitace a filtrační systém pro odloučení nasávaných usazenin; výhodou jsou klesající měrné náklady se zvětšujícím se objemem zásobníku;

- **nepřímo trubkovým registrem** – systém vodorovných polyetylenových trubek umístěných v zásobníku v několika vrstvách je uzavřený, velmi spolehlivý a bezúdržbový; čerpadla jsou instalována mimo zásobník; se zvětšujícím se objemem zásobníku úměrně narůstají náklady na trubkový registr a měrné náklady proto neklesají.

Provozní teplotní rozmezí zásobníku je od 30 do 90 ℃. Ve starších instalacích se používala hydroizolace z jednovrstvého vysokohustotního polyetylenu HDPE (Stuttgart, Chemnitz). V novějších realizacích (Steinfurt) se používá dvojvrstvý pružný polypropylen. Dvě vrstvy, každá o tloušťce 2 mm, kromě skutečnosti, že tvoří dvojí ochranu, umožňují i kontrolu těsnosti během stavby i po ní během provozu. Hydroizolace se rozdělí do několika kontrolních oblastí pro snadnou lokalizaci případné poruchy. Polypropylen má oproti HDPE vyšší teplotní odolnost (do 95 ℃) s dlouhodobou garancí, avšak menší odpor proti difúzi vodní páry. Funkci parozábrany proto zajišťuje hliníko-polyetylenová fólie.

Obrázek 10 – Konstrukční schéma výkopového sezónního zásobníku [4]



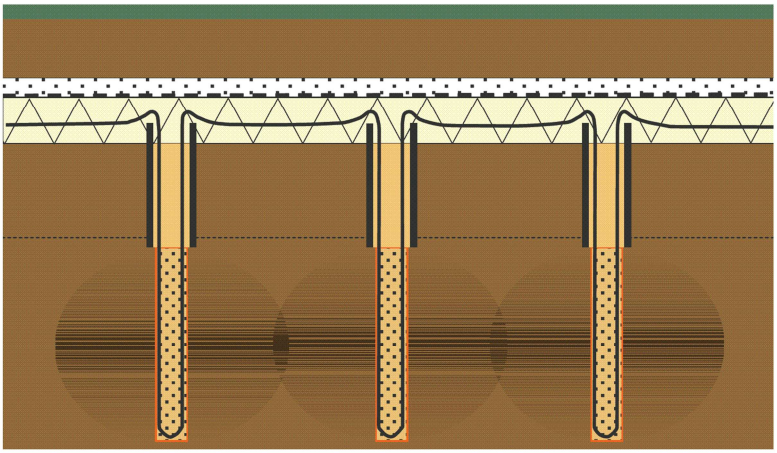
Povrch zásobníku je tepelně izolován, nejčastěji pouze horní část a stěny (extrudovaný polystyren, polyuretanová pěna, pěnové sklo), v případě izolace dna je nutné použít pěnové sklo. Použití granulovaného recyklovaného skla s uzavřenou porézní strukturou, které se vyznačuje vysokou odolností proti tlaku a minimální nasákavostí se ukazuje i přes horší tepelně izolační parametry a nutnost použít větší tloušťku vrstvy jako cenově výhodnější varianta než tradiční izolace [10]. Okolo zásobníku (stěny, dno) je v případě potřeby nezbytné provést drenáž. Na obrázku 11 je znázorněna výstavba výkopového zásobníku v Eggensteinu v roce 2008.

Obrázek 11 – Výstavba výpokopového zásobníku v Eggensteinu [5]

1.4.3 Zemní sondy

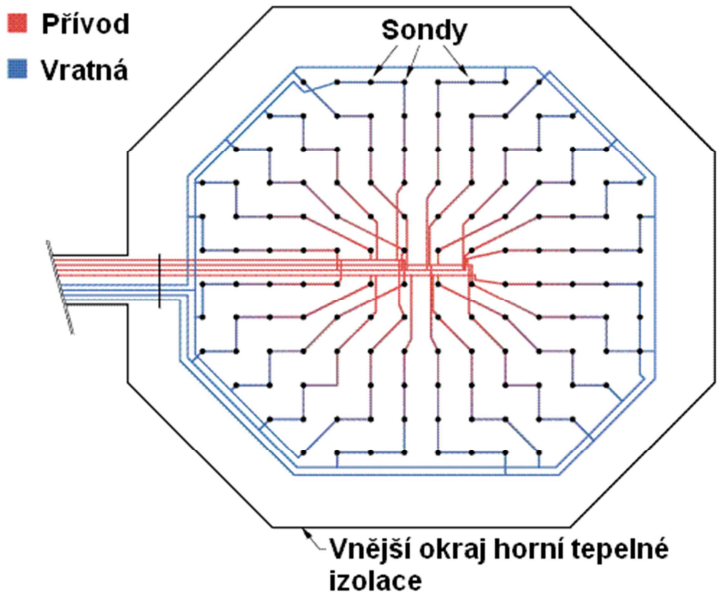
Sezónní akumulace tepla do zemského masívu využívá zemních sond instalovaných ve vhodném podloží (viz obrázek 12). Zemní sondy jsou hluboké 30 až 100 m a jejich průměr je 100 až 150 mm, podobně jako u technologie sond pro tepelná čerpadla. Vzdálenost mezi jednotlivými sondami se pohybuje okolo 3 m. Sondy jsou vystrojeny plastovou trubkou ve tvaru U smyčky protékané teplonosnou kapalinou (vodou). Smyčky se hydraulicky propojují částečně sériově a částečně paralelně.

Obrázek 12 – Konstrukční schéma zemního sezónního zásobníku [4]



Při nabíjení zemního zásobníku je směr toku teplonosné kapaliny od středu pole sond k okraji, aby bylo dosaženo vysokých teplot uprostřed a nižších na okraji pole (viz obrázek 13). Při vybíjení se tok kapaliny obrátí. Povrch nad polem zemních sond je opatřen tepelnou izolací proti tepelným ztrátám do venkovního prostředí.

Obrázek 13 – Propojení zemních sond v poli akumulačního zásobníku (Drake Landing) [6]



Akumulační schopnost pole zemních sond závisí na složení a vlastnostech podloží. Jílovité masivy mají vysokou tepelnou vodivost a tedy dobrý přenos tepla ze sond do akumulačního objemu. Nevhodné jsou podloží s prouděním spodní vody, která může odvést akumulované teplo. Obecně je akumulační schopnost 3 až 5 x nižší než u vodních zásobníků, pohybuje se mezi 15 až 30 kWh/m^3. Vzhledem k souvisejícím tepelným ztrátám do okolních částí podloží a velikosti požadovaných akumulačních objemů se významně projevuje setrvačnost podloží. První nabíjení zásobníku na provozní teplotu může trvat řadu let (5 až 8 let) během nichž nelze ze zásobníku odebírat teplo pro účely CZT.

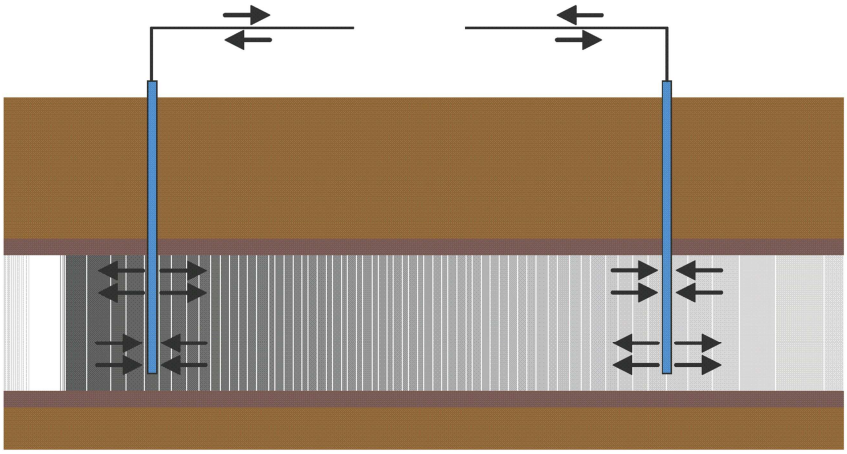
Při návrhu a realizaci je vhodné nejprve provést zkušební pole zemních sond, které je poté odzkoušeno. Na základě získaných výsledků se navrhne zbylá část akumulačního pole a rozšíří se na konečnou velikost. Výhodou zemních vrtů je možnost modulárního rozšiřování akumulačního objemu. Další sondy mohou být postupně a snadno připojovány, akumulační objem může růst např. s rozvojem zásobovaného sídliště. Ukázka realizace zemních sond je uvedena na obrázku 14. Pro zajištění účinného provozu se zemní sondy kombinují s menším vodním nárazovým vodním zásobníkem, především z důvodu omezeného nabíjecího a vybíjecího výkonu. V případě potřeby je z nárazového zásobníku napájena síť CZT nebo vlastní sezónní akumulátor (přebytky energie).

Obrázek 14 – Výstavba zemního zásobníku – zavádění zemních sond [5]

1.4.4 Aquifer

Aquifery jsou spodní vodou nasycená a hydraulicky propustná písečná, štěrková nebo pískovcová podloží. Pokud jsou shora a zespodu obklopena nepropustnými vrstvami a je v nich omezené proudění spodní vody, lze je využít pro akumulaci tepla nebo chladu. Aquiferový zásobník se vystrojí dvěma studnami nebo skupinami studen, které slouží pro čerpání a zasakování spodní vody. Během periody nabíjení je studená voda čerpána z „chladné“ studny, ohřívána solární soustavou a teplá voda je poté vsakována do „teplé“ studny, viz obrázek 15. V periodě vybíjení se směr toku obrátí. Studny tedy slouží jak pro vsakování tak pro čerpání spodní vody a obě musí být vybaveny čerpadly.

Obrázek 15 – Konstrukční schéma aquiferového sezónního zásobníku [4]



Realizace využívající aquifery vyžadují velmi příhodné hydrogeologické a geochemické podmínky v místě instalace a tomu odpovídá i jejich rozšíření. V řadě technologicky vhodných

oblastí nelze z důvodu ochrany spodních vod takové instalace realizovat. Pro spolehlivý provoz zásobníku tepla, aby nedošlo k zanesení jednak vlastního propustného podloží a jednak výměníků, je nezbytná znalost minerálního, chemického a mikrobiálního složení podloží.

Maximální teploty v aquiferu jsou omezeny na 50 ℃, vyšší teploty by mohly způsobit změnu chemického složení podzemní vody. Druhým důvodem jsou výrazné tepelné ztráty, zvláště v případě malých aquiferů. Velmi záleží na požadovaném teplotním spádu rozvodu CZT, zda na počátku otopného období lze vůbec akumulované teplo v aquiferu využít. Výhodné je potom spojení s tepelnými čerpadly, které mohou aquifer postupně vychladit až na 10 ℃, zatímco na kondenzátoru dosáhnout 45 ℃, případně 65 ℃ z přehřátých par chladiva. Odpovídající topný faktor tepelného čerpadla se potom může pohybovat okolo 5.

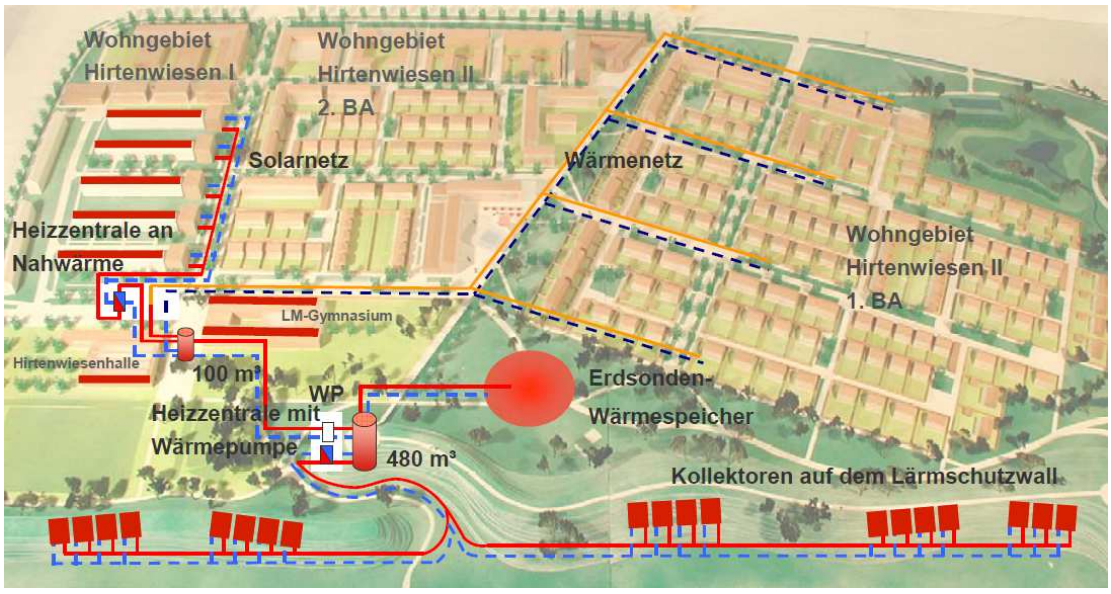
1.5 PŘÍKLADY REALIZACÍ

Pro detailnější pohled na příklady instalací solárních soustav pro centralizované zásobování teplem jsou uvedeny tři do jisté míry pilotní instalace: Crailsheim (Německo), Marstal (Dánsko) a Friedrichshafen (Německo). Tyto instalace zároveň slouží jako demonstrační zařízení, na kterých se zkoumají nové postupy. Jde o plně monitorované instalace a na základě vyhodnocování provozu v reálných podmínkách se získávají zkušenosti pro projektování dalších.

1.5.1 Crailsheim

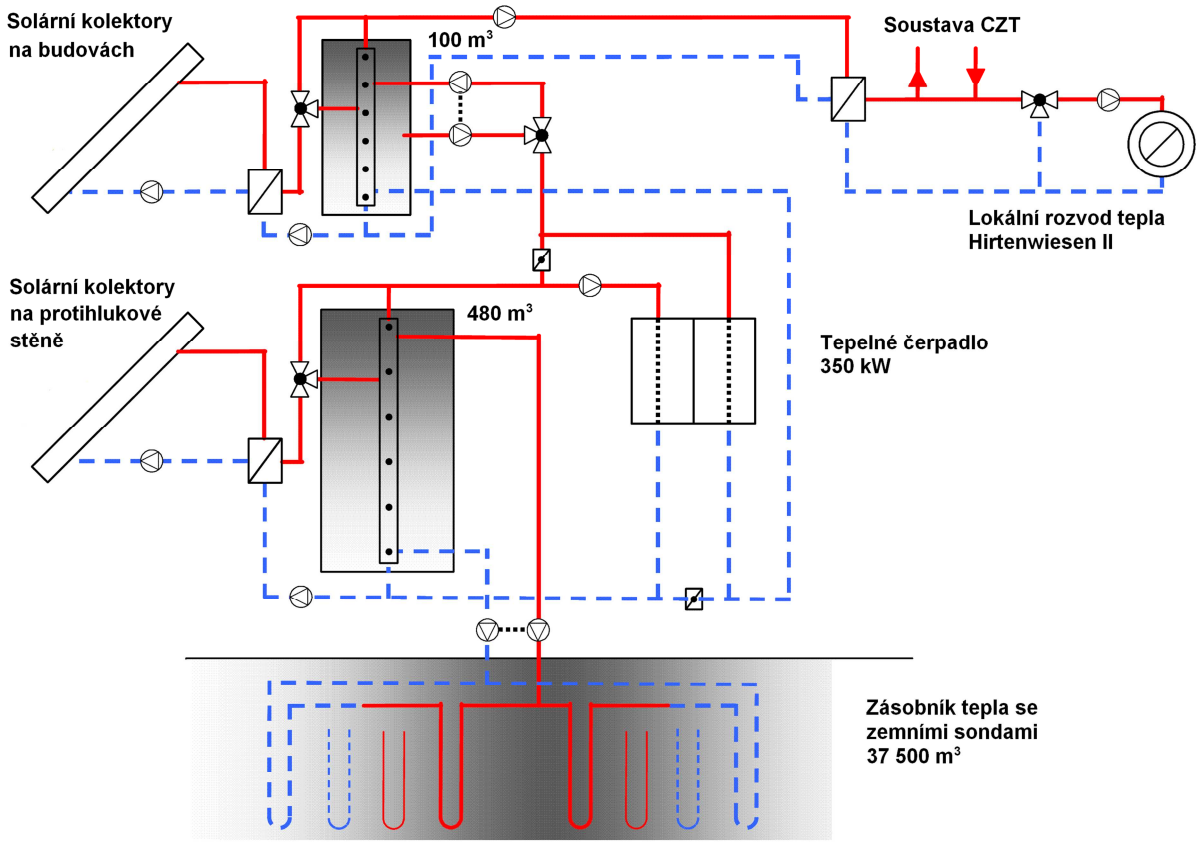
Solární soustava pro zásobování teplem na sídlišti Hirtenwiesen v německém Crailsheimu zásobuje teplem cca 260 bytových jednotek, školu a sportovní halu (viz obrázek 16). Solární soustava pracuje na principu akumulace tepla do zemského masivu (dlouhodobá akumulace s objemem 37 500 m^3) a do vodních zásobníků (krátkodobá akumulace, objem 100 + 480 m^3).

Obrázek 16 – Model sídliště Hirtenwiesen (Crailsheim) [11]



Soustava je rozdělena na dvě části a to z důvodu pozdější výstavby druhé části. Obě části soustavy jsou propojeny (viz obrázek 17). Soustava sloužící ke krátkodobé akumulaci se skládá z kolektorového pole o ploše 2 325 m^2 na budovách sídliště a pohotovostního zásobníku s objemem 100 m^3 propojeného s rozvodem tepla. Solární kolektory určené primárně pro sezónní akumulaci tepla mají plochu 5 000 m^2 jsou umístěny pod sklonem 30° na protihlukových valech oddělujících sídliště od průmyslové zóny (viz obrázek 18). Dodávají teplo do nárazového vodního zásobníku 480 m^3 a zemního zásobníku umístěných poblíž protihlukového valu.

Obrázek 17 – Solární soustava se sezónní akumulací tepla a tepelným čerpadlem v Crailsheimu [7]



Zemní zásobník je tvořen 80 zemními sondami o hloubce 60 m. Každá zemní sonda je provedena jako dvojitá U-smyčka ze zesítěného polyetylénu odolného vysokým teplotám. Sondy jsou realizovány v pravoúhlém rastru 3 x 3 m. Zemní sondy jsou zapojeny tak, aby nejvyšší teplota akumulační hmoty (zeminy) byla dosahována ve středu zásobníku a postupně směrem k okrajům klesala. V případě dalšího rozšiřování zásobníku lze přidat zemní sondy do okrajové části a tím zvýšit akumulační objem „teplého“ jádra. Výkon kolektorového pole nelze účinně předat do zemního zásobníku přímo vzhledem k omezenému přestupu tepla v zemském masívu. Proto je použit nárazový vodní zásobník, který umožňuje postupné nabíjení i vybíjení zemních sond.

V soustavě je využito také tepelné čerpadlo o výkonu 350 kW, které zajišťuje vybíjení zemního zásobníku na nízké teploty. Pokud teplota v nárazovém zásobníku poklesne pod 50 ℃, tepelné čerpadlo se sepne, vychlazuje nárazový zásobník a nabíjí pohotovostní zásobník. Vychlazení

nárazového zásobníku až na teploty 10 ℃ umožňují vychladit sezónní zásobník na teploty okolo 20 ℃. Tím se sníží roční tepelné ztráty zásobníku a zvýší se účinnost kolektorového pole, které zásobníky nabíjí. Měrné roční zisky kolektorového pole 2 jsou na úrovni 380 kWh/(m^2.rok), topný faktor tepelného čerpadla 4,7. Nárůstem rozdílu mezi maximální a minimální teplotou v sezónním zásobníku na cca 50 K vzroste jeho akumulační schopnost a i účinnost využití akumulovaného tepla (73 % oproti běžným 40 % pro sezónní akumulátory se zemními sondami). Při použití tepelného čerpadla lze tedy volit menší objemy sezónního zásobníku. V porovnání s řešením bez tepelného čerpadla je potřebný objem zemního zásobníku tepla o cca 40 % menší a podobně velikost nárazového zásobníku a kolektorového pole je o 33 % menší [7].

Celková potřeba tepla sídliště je 4100 MWh. Vzhledem ke stáří domů sídliště (bývalá základna amerických vojenských jednotek) převažuje potřeba tepla na vytápění (70 %) nad potřebou tepla na přípravu teplé vody (12 %). Měrná potřeba tepla na vytápění domů se pohybuje mezi 60 a 80 kWh/(m^2.rok). Přestože návrhové teploty otopné vody 65/35 ℃ jsou relativně nízké, tepelné ztráty rozvodu tepla jsou vysoké (18 %), mimo jiné také kvůli nízké výkonové hustotě sídliště. Solární soustava kryje zhruba 50 %.

Obrázek 18 – Solární kolektory instalované na protihlukovém valu v Crailsheimu [5]

Celkové investiční náklady na vybudování solární soustavy pro zásobování teplem byly 7 mil. EUR, z toho 3,4 mil. EUR tvořila poskytnutá dotace od německého Ministerstva životního prostředí a Ministerstva pro Ekonomiku spolkové země Baden-Wurttemberg. Cena solárního tepla stanovená pro dlouhodobý provoz při úrokové míře 6 % je 19 ct/kWh (cca 1300 Kč/GJ) [2].

V budoucnu se počítá s připojením dalších 211 bytových jednotek a zvýšením ročního odběru tepla na 7000 MWh. S tím souvisí i plánové rozšíření celkové plochy kolektorů na 9 700 m^2 a zvětšení objemu zemního zásobníku na dvojnásobek (160 sond, 75 800 m^3). Zároveň má být instalováno další tepelné čerpadlo o výkonu 350 kW.

Obrázek 19 – Crailsheim – realizace zemního zásobníku [5]

1.5.2 Marstal

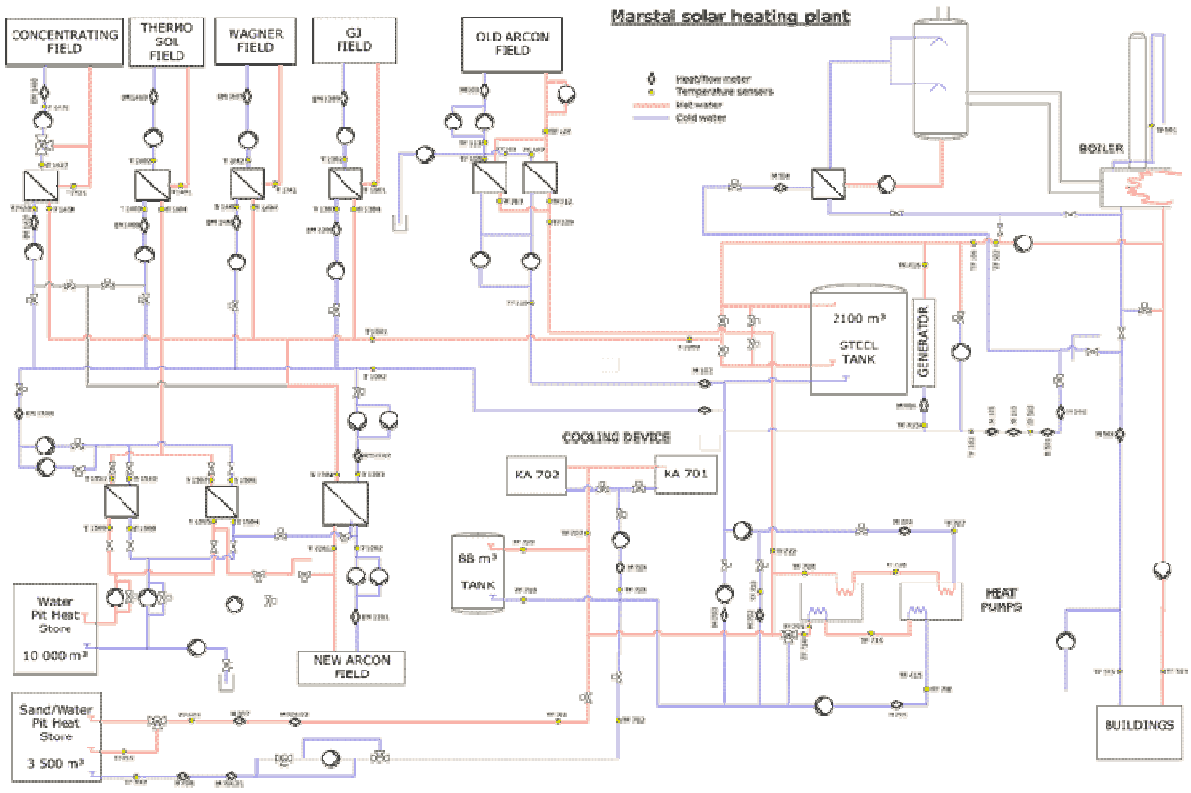
Příkladem integrace solární soustavy do fungujícího staršího systému CZT lze nalézt v dánském Marstalu (viz obrázek 20). Původní systém využívající kotle na topný olej instalované v 60. let minulého století byl doplněn postupně se rozšiřující solární soustavou v letech 1996 až 2003.

Obrázek 20 – Solární soustava v Marstalu

Původní solární soustava měla čistě zkušební charakter, o čemž vypovídá instalovaná kolektorová plocha 75 m^2 (1994). V průběhu let bylo kolektorové pole rozšiřováno a soustava

doplněna o sezónní zásobníky tepla. V roce 1996 byla instalovaná plocha solárních kolektorů již 8 038 m^2 a byl realizován vodní zásobník 2 100 m^3. O tři roky později vzrostla kolektorová plocha na 9 043 m^2 a byl instalován zásobník se zemními sondami ve zvodněném písku o objemu 3 500 m^3. V rámci projektu Sunstore 2 byla v roce 2003 solární soustava rozšířena na 18 365 m^2 solárních kolektorů a akumulaci tepla doplnil výkopový zásobník o objemu 10 000 m^3 (viz obrázek 20). V celém systému bylo použito sedm různých typů solárních kolektorů (ploché, vakuové).

Obrázek 21 – Schéma zapojení soustavy v Marstalu [12]

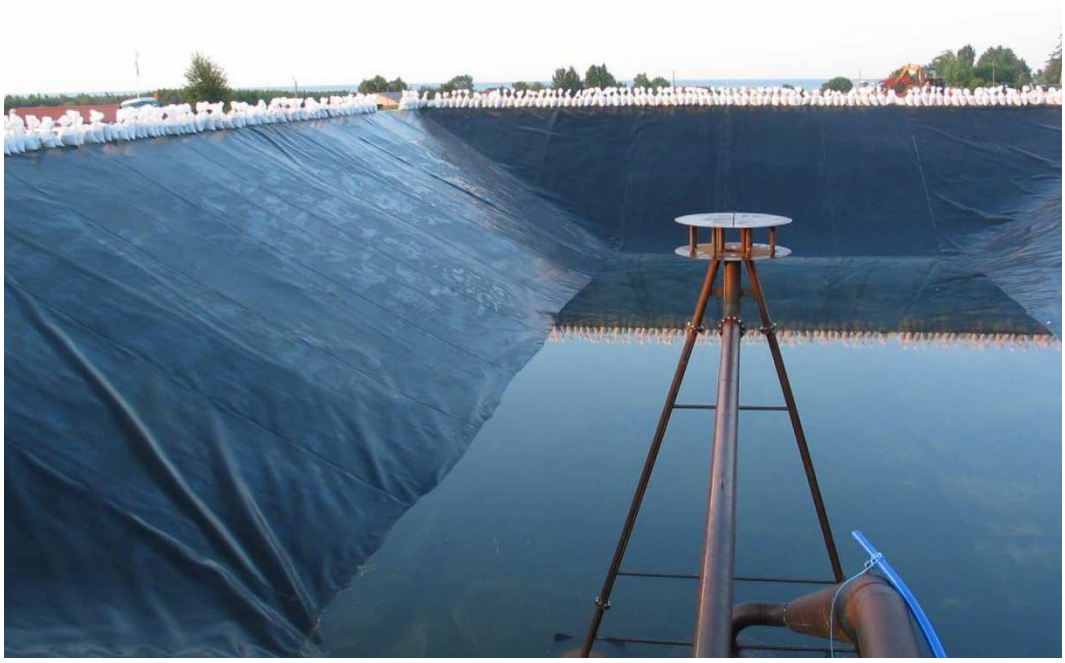


V solární soustavě v Marstalu se využívá proměnného průtoku elektronickým řízením čerpadel a regulací na konstantní teplotu na výstupu z kolektorového pole (80 ℃), která je p římo využitelná pro rozvod tepla. To zvyšuje solární pokrytí a snižuje četnost spínání záložních kotlů. Kromě toho řízení čerpadel přináší významné úspory v čerpací práci. Zatímco u starší instalace v Marstalu byla měrná spotřeba elektrické energie 4,4 kWh/MWh produkovaného solárního tepla, u nově řízené soustavy je spotřeba poloviční.

V současnosti soustava zásobuje teplem budovy s celkovou obytnou plochou 209 769 m^2 (zhruba 1420 obyvatel) s potřebou tepla 28 000 MWh/rok. Marstalská solární soustava ročně dodává 8 500 MWh tepelné energie, což představuje zhruba 30 % z celkové potřeby místní sítě CZT. Celková výše investice činila cca 7,3 mil. EUR. Projekt byl částečně financován z dotačních programů (37 %). Zbylé náklady byly hrazeny z vlastních zdrojů (40 %) a komerčních úvěrů

(23 %). Cena tepla ze soustavy CZT v Marstalu byla pro rok 2011 stanovena na úroveň 632 Kč/GJ bez zahrnutí distribučních služeb. Při kalkulaci pro běžný rodinný dům s obvyklou spotřebou tepla vychází konečná cena 847 Kč/GJ.

Obrázek 22 – Realizace výkopového vodního zásobníku (10 000 m^3) v Marstalu



V letech 2010 až 2014 by měla být současná soustava v Marstalu dále rozšířena v rámci evropského projektu Sunstore 4. Cílem je 100% pokrytí potřeby z obnovitelných zdrojů. Solární energie má tvořit 55 % a zbylých 45 % energie bude dodáno z lokálně pěstované biomasy. Projekt zahrnuje rozšíření stávajícího kolektorového pole o dalších 15 000 m^2, výkopový zásobník o objemu 75 000 m^3, instalaci zdroje na lokálně pěstovanou biomasu o výkonu 4 MW se zabudovaným kogeneračním zařízením na bázi organického Rankinova cyklu (ORC) pro produkci elektrické energie z tepla spalin a tepelné čerpadlo 1,5 MW pro nabíjení zásobníků.

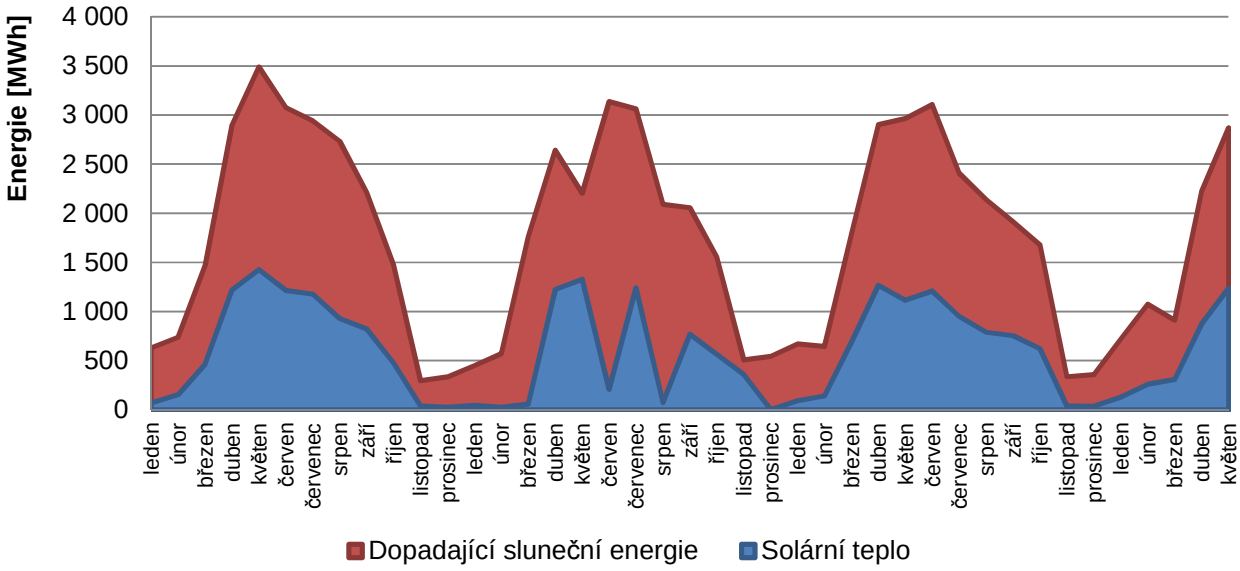
V současnosti jsou v provozu pole solárních kolektorů s celkovou plochou 17 493 m^2. Sklon solárních kolektorů je 35 °a 40 °.

Tabulka 3 – Roční hodnoty měrných zisků a dopadající sluneční energie – Marstal [13]

Rok	Měrné zisky soustavy	Dopadající sluneční záření	Účinnost přeměny energie
[-]	[kWh/m^2]	[kWh/m^2]	[-]
2009	447	1 168	0,38
2010	329	1 158	0,28
2011	429	1 149	0,37

Pozn.: Nižší měrné zisky soustavy v roce 2010 byly způsobeny přerušením provozu z důvodu poruch v letním období.

Graf 4 – Měsíční hodnoty měrných zisků a dopadající sluneční energie – Marstal [13]



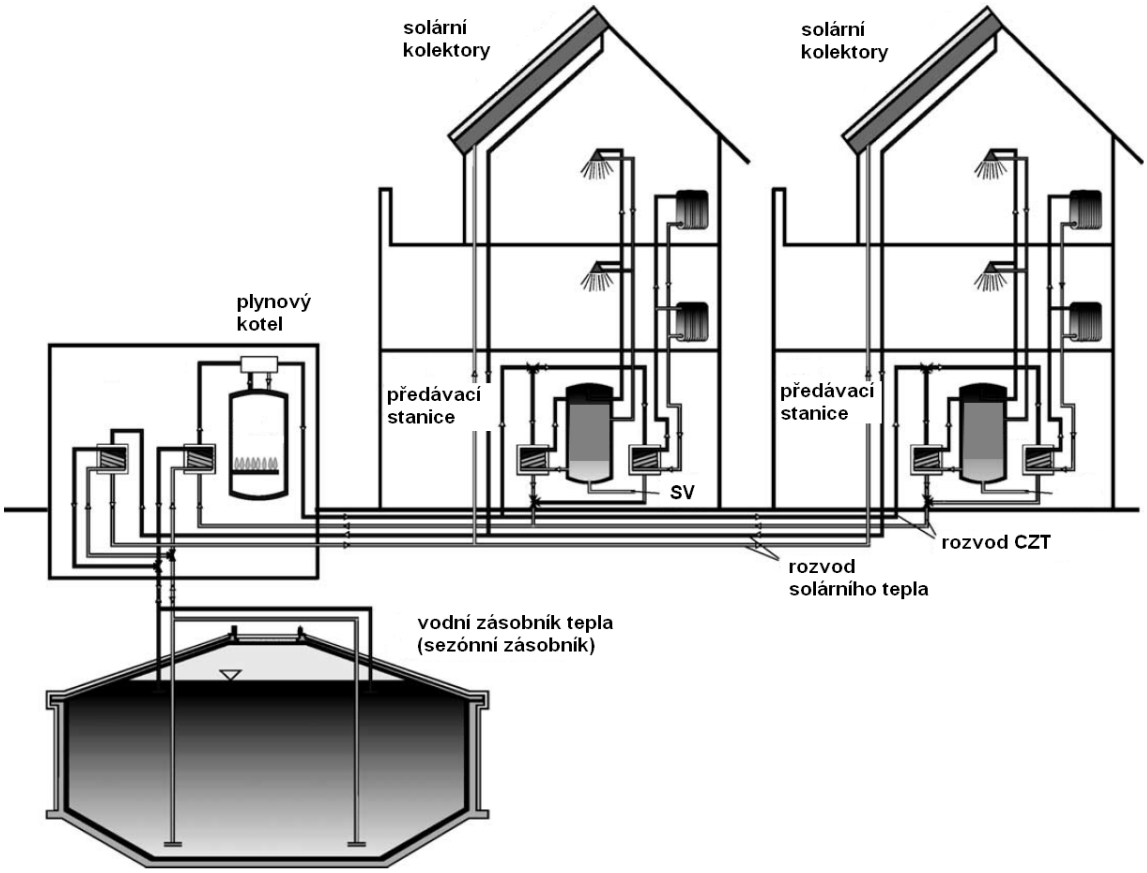
1.5.3 Friedrichshafen

Solární soustava pro CZT ve Friedrichshafenu byla budována od roku 1996. V konečné podobě má zásobovat teplem přes 570 bytových jednotek v 8 bytových domech s celkovou vytápěnou plochou 39 500 m^2 (potřeba tepla 4 100 MWh/rok). Celková projektovaná plocha kolektorů je 5 600 m^2. Rozvod tepla je provozován v teplotním spádu 70 / 40 ℃. Plánované pokrytí potřeby tepla bylo stanoveno 47 %. Zbylá část tepla je dodávána z plynových kondenzačních kotlů. Celý systém je realizován v několika fázích.

Obrázek 23 – Výstavba sezónního zásobníku ve Friedrichshafenu [9]

V první etapě byl realizován vodní zásobník s konečným objemem 12 000 m^3. Zásobník je válcového tvaru ze železobetonové konstrukce a je zabudován do terénu (viz obrázek 23). Horní a boční strany zásobníku jsou tepelně izolovány 20 až 30 cm minerální izolace. Velkoplošné solární kolektory o ploše 2 700 m^2 byly instalovány na střechy domů, částečně integrovány přímo do střešního pláště, některé jsou instalovány na podpůrných konstrukcích (viz obrázek 25). Sklon kolektorů je 20 až 25°. Orientace je převážně jižní, v některých případech však kolektory směřují i na západ. Napojeno bylo 280 bytových jednotek s vytápěnou plochou 23 000 m^2. Schéma solární soustavy je uvedeno na obrázku 24.

Obrázek 24 – Schéma soustavy ve Friedrichshafenu [9]



V roce 2002 začala druhá etapa a bylo postaveno 110 bytových jednotek v terasových domech a byla instalována dvě kolektorová pole o celkové ploše 813 m^2. V roce 2004 pak bylo realizováno dalších 500 m^2. Solární pokrytí se pohybuje na úrovni zhruba 25 %. Pro první etapu však bylo předpokládáno pokrytí 43 %, kterého nebylo dosaženo z několika důvodů. Předně potřeba tepla budov v první etapě byla o cca 10 % vyšší než projektovaná. Předpoklad teploty vratné vody z rozvodu tepla na úrovni 30 ℃ se nepotvrdil, v praxi bylo dosaženo dokonce 52 ℃ (rok 2004). Tepelné ztráty sezónního zásobníku byly výrazně vyšší (o více než třetinu) než projektované vzhledem k nepříznivému proudění spodní vody pod dnem zásobníku.

Obrázek 25 – Solární kolektory instalované na střechách domů ve Friedrichshafenu [9]

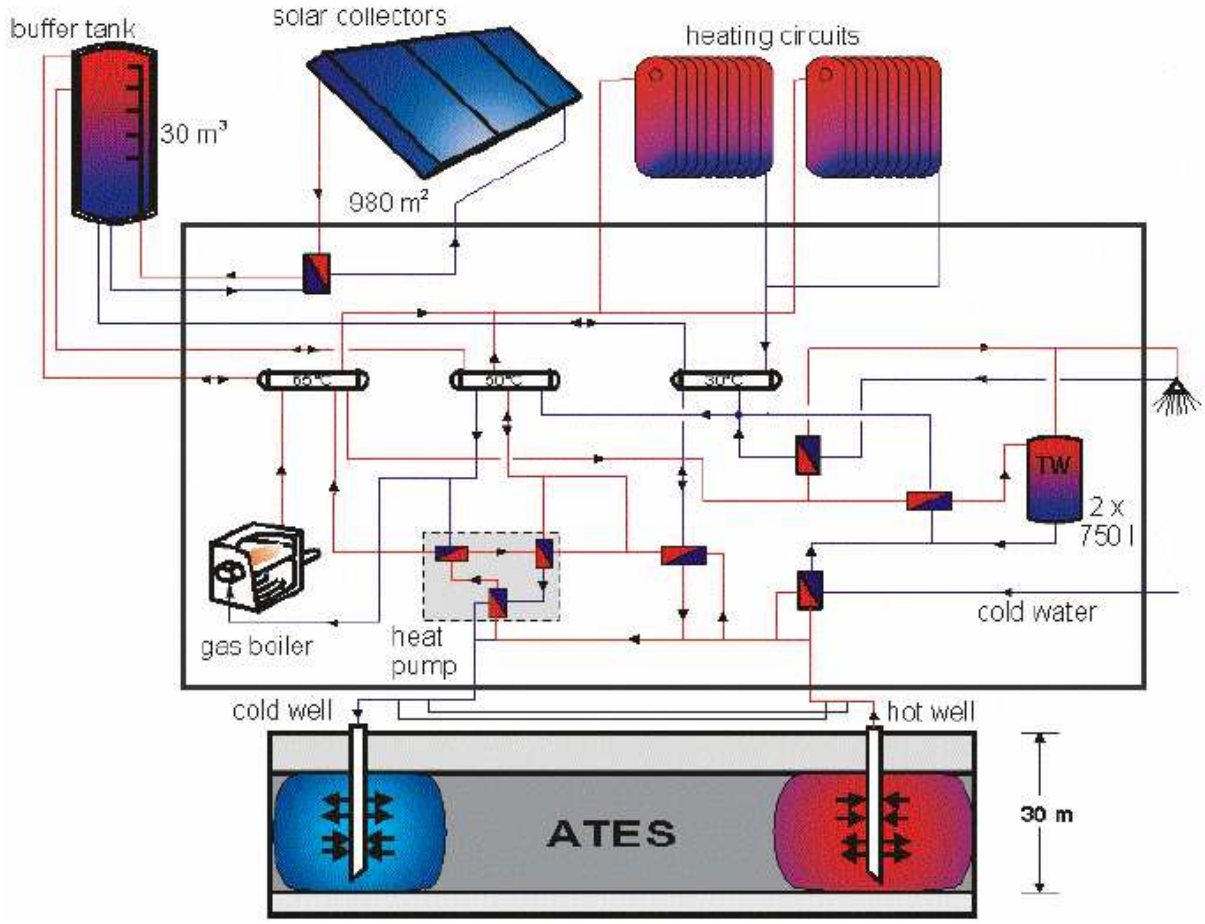
Tabulka 4 – Provozní parametry solární soustavy ve Friedrichshafenu [9]

Rok	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Potřeba tepla [MWh]	2262	2245	2278	2033	2173	2423	3325	3013
Plocha kolektorů [m^2]	2700	2700	2700	2700	2700	2700	3500	4050
Zisky kolektorů [MWh/rok]	1080	946	880	944	892	989	941	808
Měrné zisky kolektorů [kWh/(m^2·rok)]	400	350	326	349	330	366	348	200
Solární zisky předané do CZT [MWh/rok]	475	620	478	611	566	652	886	743
Měrné zisky do CZT [kWh/(m^2·rok)]	176	230	177	226	210	241	253	184
Solární pokrytí [%]	21	28	21	30	26	27	27	25
Teplota vratné vody [℃]	44,7	44,1	48,6	49,3	48,4	4 7,5	51,5	51,9

1.5.4 Rostock

V německém Rostocku je instalována solární soustava pro CZT s akumulací do aquiferu. Zjednodušené schéma je uvedeno na obrázku 27. Kolektory jsou umístěny na střechách o tepelném výkonu 686 kW (absorpční plocha je 980 m2). Zásobník je umístěn v hloubce od 15 až 30 m pod povrchem terénu a je provozován na maximální teplotu 50 ℃. D ůvodem je snížení tepelných ztrát a k zabránění znehodnocení spodních vod. Pro zvýšení využitelnosti akumulace je zde integrované tepelné čerpadlo. Pro případný dohřev zde slouží plynový kondenzační kotel.

Obrázek 26 – Schéma zapojení soustavy v Rostocku se zásobníkem aquifer [14]



Pro zajištění dobrých pracovních podmínek solárních kolektorů a tepelného čerpadla pracuje soustava s teplotním spádem 50/30 °C p ři venkovní teplotě -12 °C. V tabulce 5 jsou uvedeny ro ční tepelné bilance v letech 2001 až 2003.

Tabulka 5 – Provozní parametry solární soustavy v Rostocku [14]

	2001	**2002**	**2003**
Zisky solárních kolektorů [MWh/rok]	348	364	456
Zisky solární soustavy [MWh/rok]	211	278	304
Teplo dodané plynovými kotli [MWh/rok]	420	322	279
Spotřeba e. energie tepelnými čerpadly [MWh_e/rok]	24	44	39
Celková potřeba tepla [MWh/rok]	655	644	622
Solární pokrytí [%]	32	43	49
Teplota ve vratném potrubí [°C	34	36	35

2 ENERGETICKÁ ANALÝZA SOLÁRNÍCH SOUSTAV PRO CZT

Počítačovými simulacemi v prostředí TRNSYS byla provedena analýza vztahů mezi potřebou tepla v soustavě CZT, návrhovými parametry (potřebná plocha solárních kolektorů a objem zásobníků) a provozními parametry zvolené (měrné zisky ze solární soustavy, solární pokrytí). Simulace byly provedeny ve dvou variantách soustavy ve výtopenském režimu:

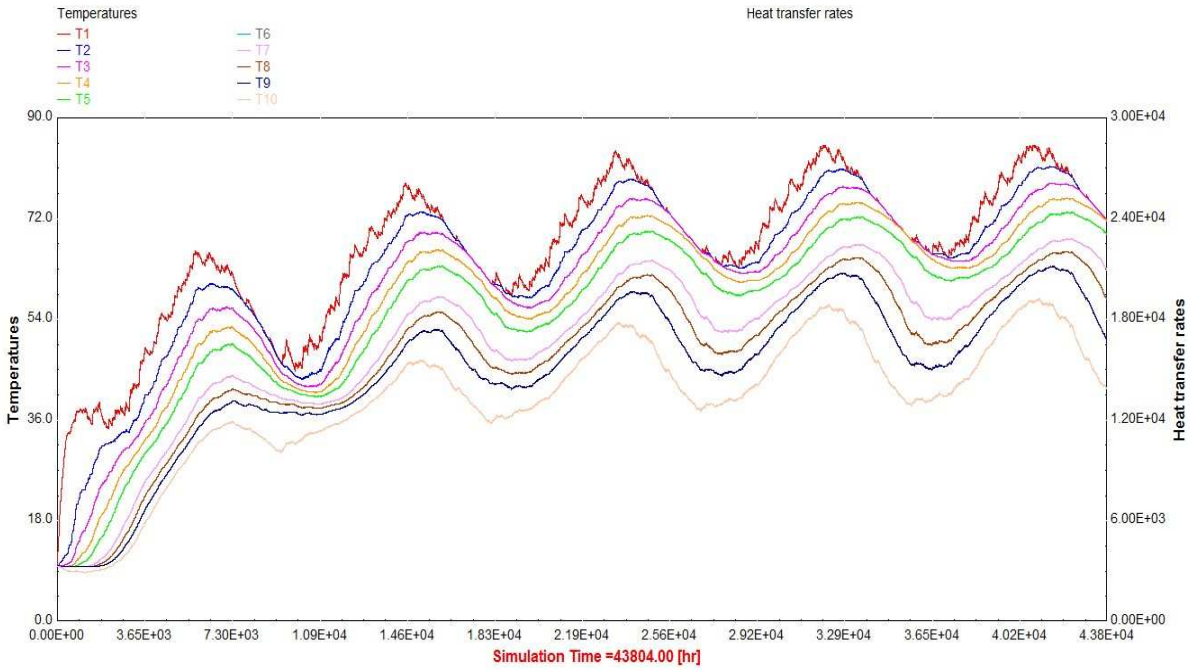
- soustava zásobování teplem pro vytápění a přípravu teplé vody;
- soustava zásobování teplem pouze pro vytápění;

a ve dvou variantách druhu akumulace solárního tepla:

- vodní zásobník;
- zemní zásobník (pole zemních sond).

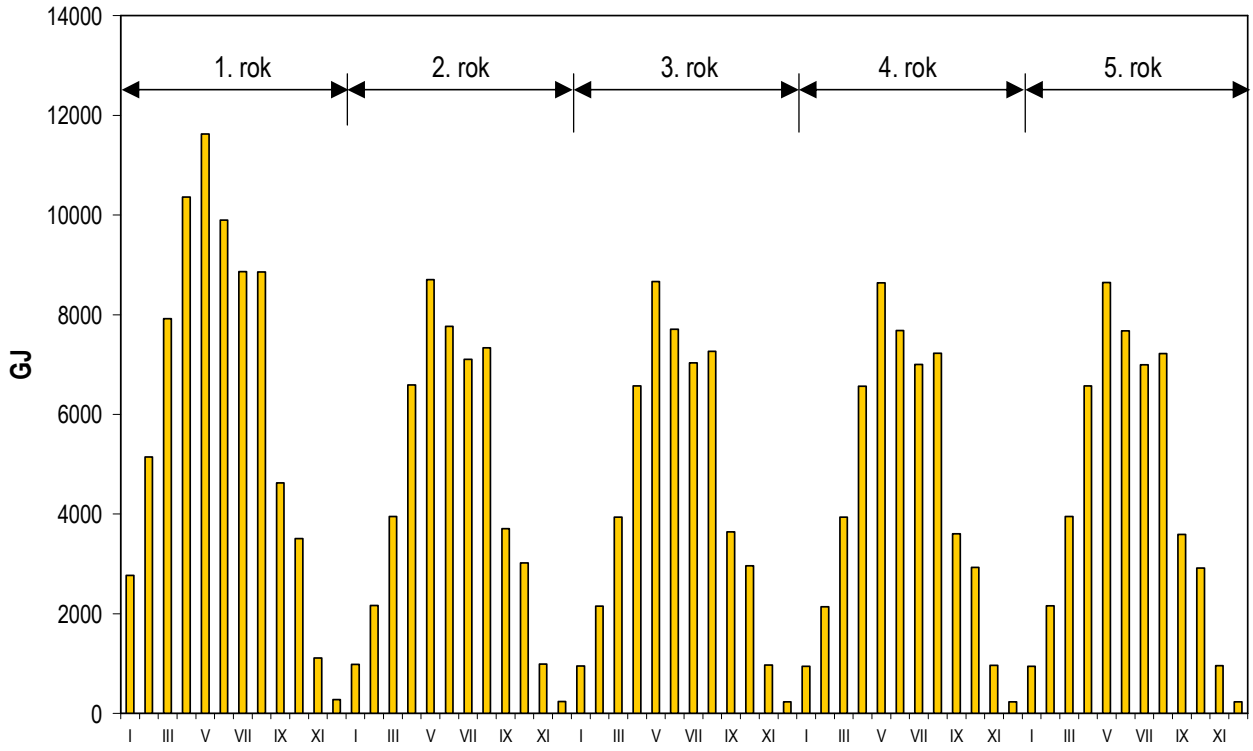
Cílem bylo zjistit potřebné návrhové parametry solární soustavy pro definované pokrytí potřeby tepla soustavy CZT solárními zisky (5 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 %). Vzhledem k využití sezónní akumulace u soustav s vyšším solárním pokrytím bylo nutné výpočet provést pro několik roků následujících po sobě. Pro všechny případy byla proto zvolena doba výpočtu 5 let, aby bylo dosaženo ustáleného provozního stavu. Výsledky pro srovnávací analýzu byly převzaty vždy z posledního 5. roku (ustálené podmínky).

Graf 5 – Průběh teplot v zásobníku během nabíjecí fáze zásobníku (výstup z TRNSYS)



V grafu 5 je názorně ukázán nárůst teploty v zásobníku od spuštění solární soustavy ze studeného stavu po naplnění zásobníku vodou. V prvních letech je zásobník nabíjen než dosáhne provozní teploty. Podobně v grafu 6 jsou zobrazeny zisky solární soustavy předané do akumulačního zásobníku. V prvních letech provozu bývají zisky významně vyšší (nabíjení ze studeného stavu).

Graf 6 – Průběh solárních zisků během nabíjecí fáze zásobníku



Návrhové parametry solární soustavy pro CZT, tj. objem solárního akumulačního zásobníku a plocha solárních kolektorů byly stanovovány iteračním postupem za splnění tří podmínek:

- solární soustava dodává požadované množství tepla pro zajištění definovaného ročního pokrytí celkové potřeby tepla;
- solární zásobník tepla pracuje v ustáleném provozu, teploty v zásobníku na konci každého ročního cyklu jsou stejné, v zásobníku se trvale meziročně nesnižuje nebo nezvyšuje teplota, rozdíl vnitřní energie během roku se blíží nule (v řádu stovek kWh);
- zásobník je optimálně využit, solární soustava nestagnuje a tím se nesnižují potenciálně dosažitelné zisky.

Iterační postup spočíval v nastavení vstupních (návrhových) parametrů (plocha kolektorů, objem zásobníku), spuštění simulace, vyhodnocení výsledků a kontrola splnění podmínek, úprava vstupních parametrů pro přiblížení k požadované hodnotě solárního pokrytí.

2.1 VSTUPNÍ OKRAJOVÉ PODMÍNKY

2.1.1 Definice parametrů

Pro jasnou interpretaci výsledků jsou níže definovány základní parametry sledované v analýze.

Plochou solárních kolektorů A_k [m^2] se rozumí plocha apertury, tzn. plocha otvoru (zasklení), kterým do solárního kolektoru vstupuje sluneční záření.

Objem vodního akumulačního zásobníku tepla V_w [m^3] je objem vody uvnitř zásobníku (betonové nádrže, výkopového zásobníku).

Objem zemního akumulačního zásobníku tepla V_g [m^3] je objem tepelně aktivní zeminy vymezený polem suchých zemních vrtů.

Využité zisky ze solární soustavy $Q_{ss,u}$ [kWh, MWh, GJ, apod.] jsou zisky předané ze solární soustavy do odběru tepla. Hranicí je nejčastěji výstup z akumulačního zásobníku nebo navazující výměník.

Měrné zisky solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/(m^2.rok)] využité zisky ze solární soustavy vztažené k instalované ploše apertury solárních kolektorů podle vztahu

$$q_{ss,u} = \frac{Q_{ss,u}}{A_k}$$

Lze z nich odvodit úsporu z m^2 instalované plochy kolektorů solární soustavy a jsou určitým ekonomickým kritériem. Zároveň jsou měřítkem účinnosti solární soustavy (vydělením dopadlou sluneční energií).

Solární pokrytí f [%] (solární podíl) je procentní pokrytí celkové potřeby tepla tepelným ziskem ze solární soustavy (využitým ziskem). Solární pokrytí je definováno vztahem

$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_p} = 1 - \frac{Q_d}{Q_p}$$

kde

$Q_{ss,u}$ je využitý zisk ze solární soustavy pro krytí potřeby tepla, v kWh;

Q_p potřeba tepla, kWh;

Q_d teplo potřebné pro dohřev, v kWh.

Účinnost akumulace je integrálním parametrem zohledňujícím využitelnost akumulovaného tepla, tzn. exergetické charakteristiky akumulačního zásobník /vodní, zemní vrty): využitelná

teplotní úroveň, tepelné ztráty zásobníku, schopnost teplotně vrstvit objem, apod. Pro účely analýzy je účinnost definována jako poměr

$$\eta_{aku} = \frac{Q_{sol1}}{Q_{sol2}}$$

Q_{sol1} je energie předaná do akumulačního zásobníku přes solární výměník z okruhu solárních kolektorů, v kWh;

Q_{sol2} energie odebraná z akumulačního zásobníku přes výměník do okruhu odběru tepla, v kWh.

2.1.2 Odběr tepla

Pro analýzu návrhových parametrů byl použit menší modelový soubor bytových jednotek (budov) v běžném stavebním standardu. Roční potřeba tepla na vytápění souboru budov se pohybuje okolo 648 MWh/rok, nicméně při zohlednění konkrétních otopných plocha a účinnosti sdílení tepla je spotřeba tepla na vytápění 678 MWh/rok. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je 157 MWh/rok. Celkový odběr tepla z CZT je 835 MWh/rok. Příprava teplé vody se celkové bilanci podílí cca 20 %. Tepelné ztráty rozvodu CZT se pohybují na úrovni 6 %.

Pod souborem budov je možné uvažovat např.:

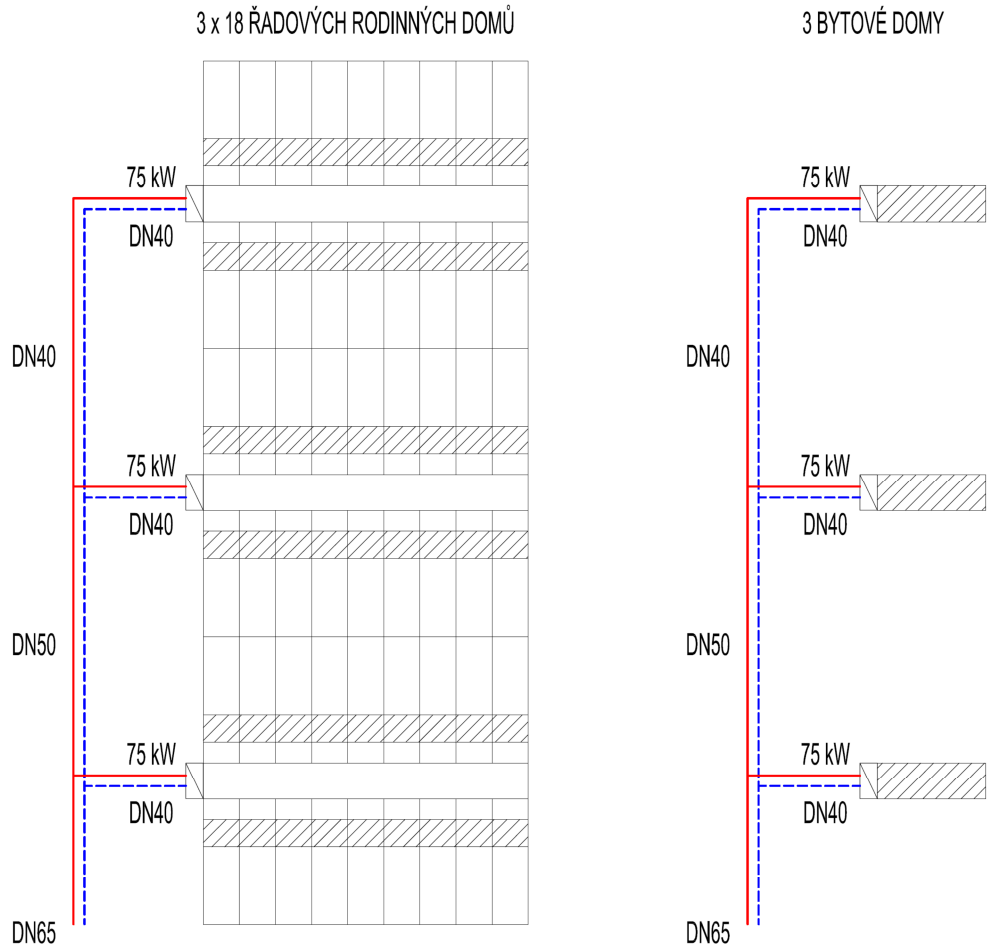
- sídliště 54 řadových rodinných domů;
- soubor 3 bytových šesti patrových domů.

Obě možnosti jsou uvedeny na obrázku 27.

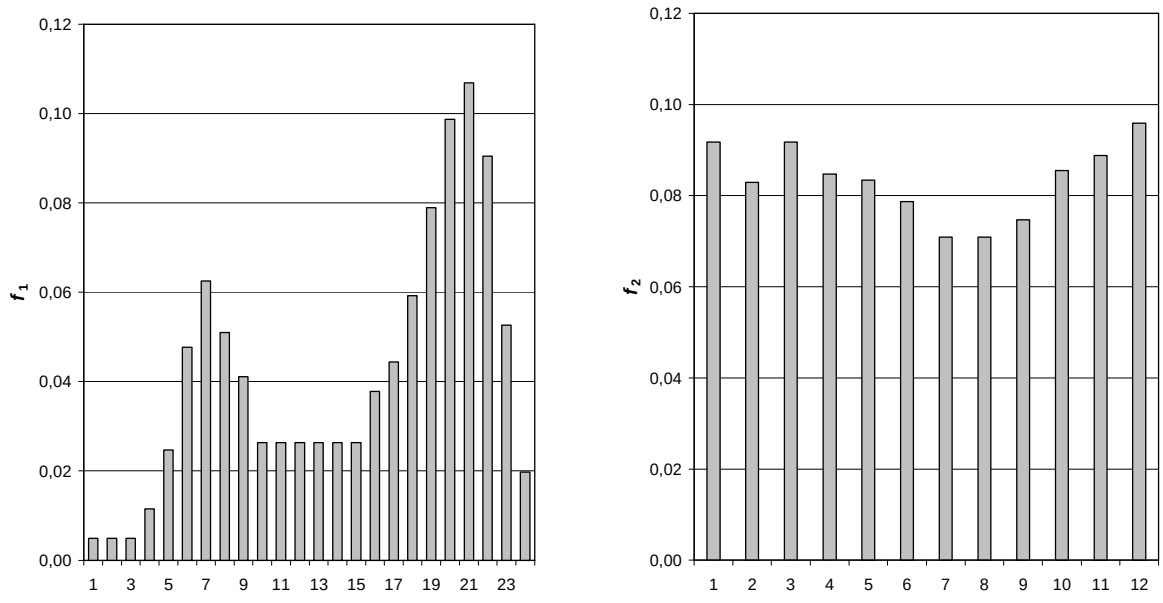
Sídliště rodinných domů je uvažováno s řadovými domy rozmístěnými do šesti řad ve třech ulicích. Každá ulice má svou předávací stanici, tzn. celkem 3 předávací stanice. Pro každý rodinný dům je uvažována měrná potřeba tepla na vytápění 80 kWh/(m^2.rok) podlahové plochy. Počet osob v domácnosti je 3, celkem 162 obyvatel. Každý dům má podlahovou plochu 150 m^2, objem 390 m^3 a stojí na pozemku o ploše 350 m^2. Hrubá plocha jižně orientované střechy každého domu je 53 m^2, celková využitelná plocha střech pro instalaci solárních kolektorů je cca 2900 m^2.

Soubor tří starších bytových domů uvažuje předávací stanici v každém domě, celkem 3 předávací stanice. Každý dům má 24 bytů (6 pater po 4 bytech) s podlahovou plochou 75 m^2 (v ní jsou započítány i společné prostory). Měrná potřeba tepla na vytápění je uvažována 120 kWh/(m^2.rok). Počet osob v domácnosti je 2,25, celkem 162 obyvatel. Hrubá plocha jižně orientované střechy každého domu je 210 m^2, celková využitelná plocha střech pro instalaci solárních kolektorů je cca 630 m^2.

Obrázek 27 – Půdorys obou souborů budov reprezentujících odběr tepla v analýze (zastavěná plocha vyšrafována)

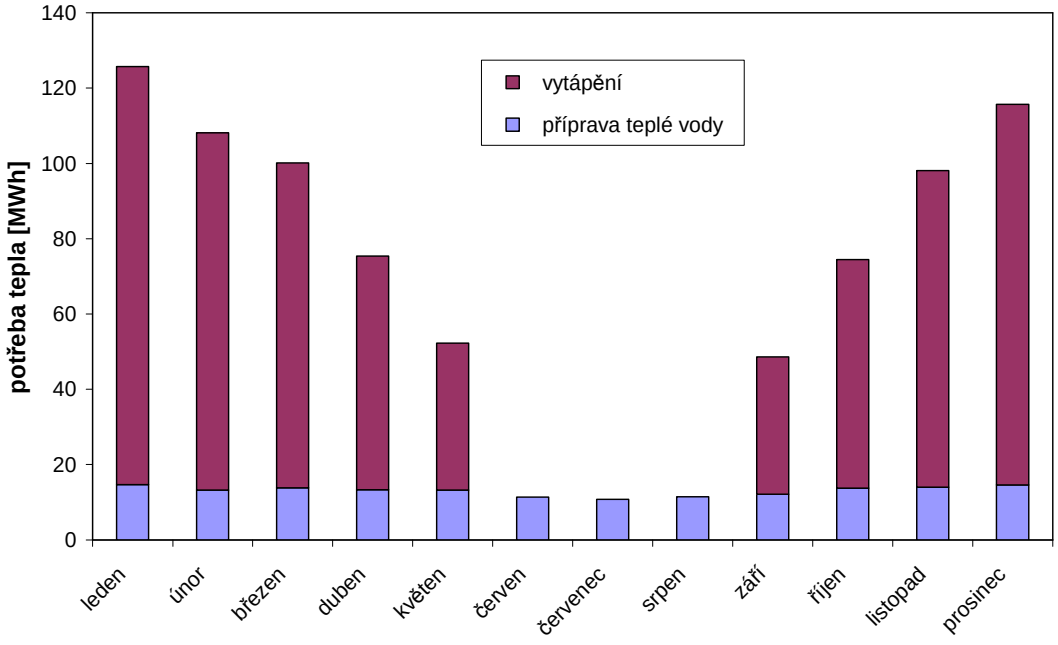


Graf 7 – Uvažovaný denní a roční profil odběru teplé vody

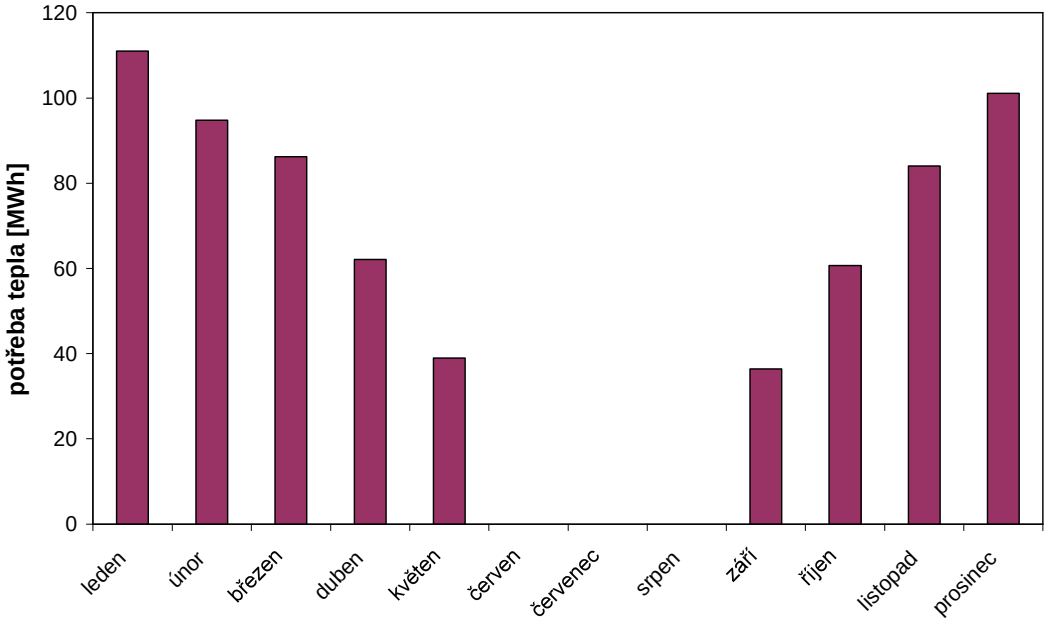


Pro přípravu teplé vody je uvažováno s reálnou denní ekvivalentní spotřebou 50 l/(os.den) při ohřevu z teploty 10 ℃ na požadovanou teplotu 55 ℃ (s e zahrnutím tepelných ztrát vyjádřených ekvivalentním množstvím teplé vody v litrech). Denní odběr teplé vody v soustavě CZT je 2,7 m^3. Průběh odběru teplé vody během dne a během roku je uvažován podíly f_1 a f_2 uvedenými v grafu 7.

Graf 8 – Roční průběh odběru tepla v rozvodu CZT (varianta vytápění a příprava TV)



Graf 9 – Roční průběh odběru tepla v rozvodu CZT (varianta vytápění)



Průběhy spotřeby tepla modelového souboru budov v obou analyzovaných variantách (vytápění a příprava TV, vytápění) jsou uvedeny v grafu 8 a v grafu 9. Hodnoty spotřeby tepla v jednotlivých měsících jsou výstupem ze simulačního výpočtu pro dané klimatické podmínky (viz dále).

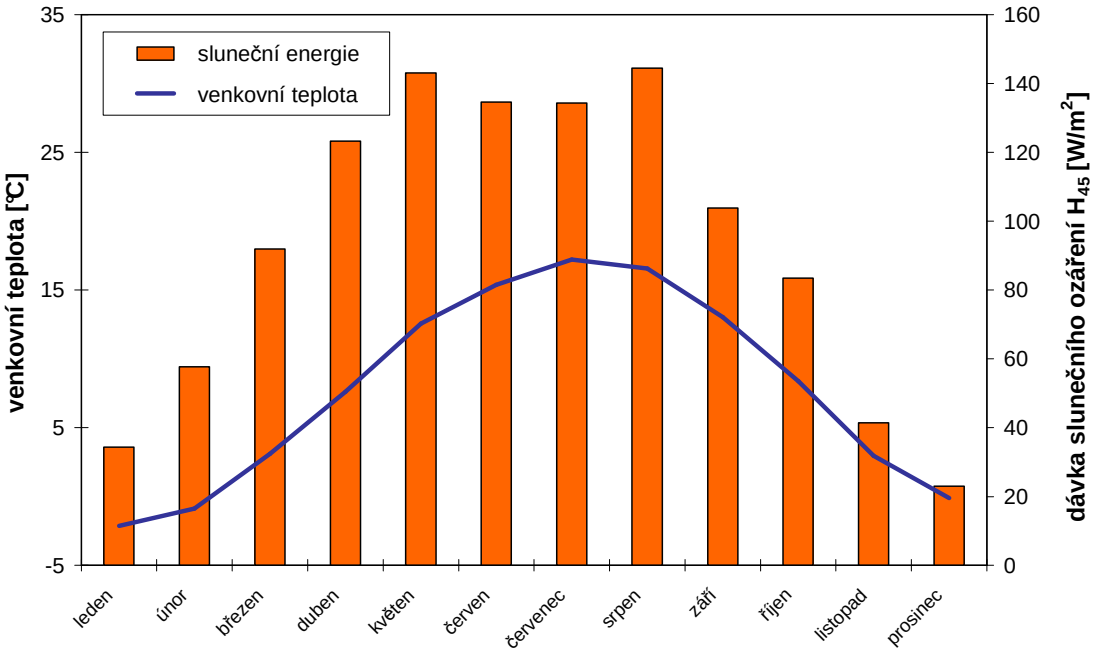
Na základě tepelně-technické vlastností domů a parametrů přípravy teplé vody byly určeny velikosti výměníkových stanic, každá zásobující 54 osob a soubor bytových jednotek o tepelné ztrátě 72 kW:

- výkon pro vytápění: 72 kW
- okamžitý výkon pro přípravu teplé vody: 75 kW
- průměrný výkon pro přípravu teplé vody: 6 kW
- **přípojný výkon výměníkové stanice: 75 kW**

2.1.3 Klimatické podmínky

Simulační prostředí TRNSYS využívá databáze hodinových klimatických údajů zpracovaných do tzv. typických meteorologických roků (formát TMY – typical meteorological year). Pro simulační analýzu byla zvolena klimatická databáze pro Prahu. V grafu 10 jsou uvedeny průběhy průměrné měsíční teploty a měsíční úhrny slunečního záření na jižní plochu se skonem 45° během roku. Celkový roční úhrn slunečního záření na uvažovanou plochu je **1100 kWh/(m^2.rok)**.

Graf 10 – Klimatické podmínky pro Prahu (TMY)



2.2 SIMULAČNÍ MODEL V TRNSYS

Pro analýzu a vyhodnocení provozního chování solární soustavy pro CZT byl vytvořen matematický model v simulačním prostředí TRNSYS. Simulační program umožňuje dynamický výpočet ve zvoleném časovém kroku a délce trvání.

TRNSYS [16] (TRaNsient SYstem Simulation) je pokročilý simulační program, vyvíjený od 70. let na Madison University (USA). Program umožňuje simulační výpočty nejen v oblasti solární tepelné techniky, ale v celé oblasti alternativních zdrojů energie, včetně větrných elektráren, kogenerace i palivových článků a souvisejících oblastí vytápění, větrání a klimatizace.

TRNSYS vyžaduje detailní znalosti jak fyzikální podstaty simulovaného problému, tak vlastního programu a je určen především pro vývoj a výzkum v oblasti solárních soustav. Od programové verze 16 je TRNSYS z prostředí FORTRAN otevřen pro všechny programy schopné vytvářet DLL knihovny, což usnadňuje vytváření vlastních knihoven modulů uživateli. Vzhledem k velké oblibě v oblasti výzkumu solárních soustav je v současné době k dispozici velké množství modulů (modely prvků) vytvořených uživateli programu v rámci vědeckých projektů (často zdarma dostupné a volně šiřitelné).

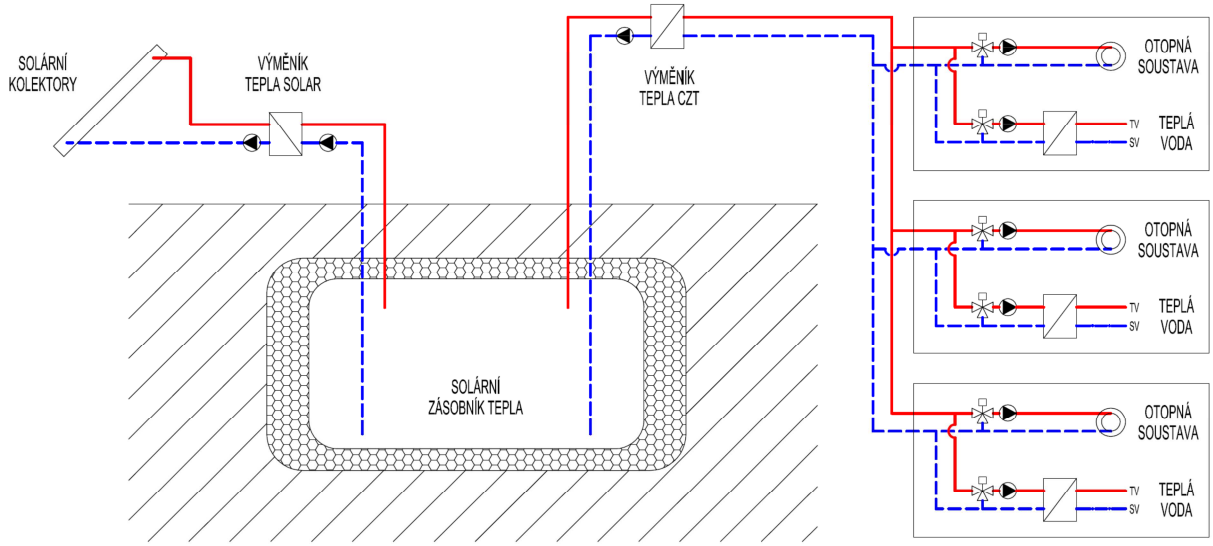
Na druhou stranu je potřeba zachovávat jistou obezřetnost při používání neověřených modulů (nebo celých knihoven) a je vždy vhodné předem provést test daného modulu za známých okrajových podmínek a zjistit tak jeho funkčnost a reálnost výsledků.

Program umožňuje libovolné kombinace jednotlivých prvků s velmi širokými možnostmi volby parametrů. Vzhledem k možnosti neomezeného propojování jednotlivých modulů je v prostředí TRNSYS Studio poměrně složité udržet schéma jednoduché solární soustavy přehledné (viz obrázky se schématy simulačního modelu).

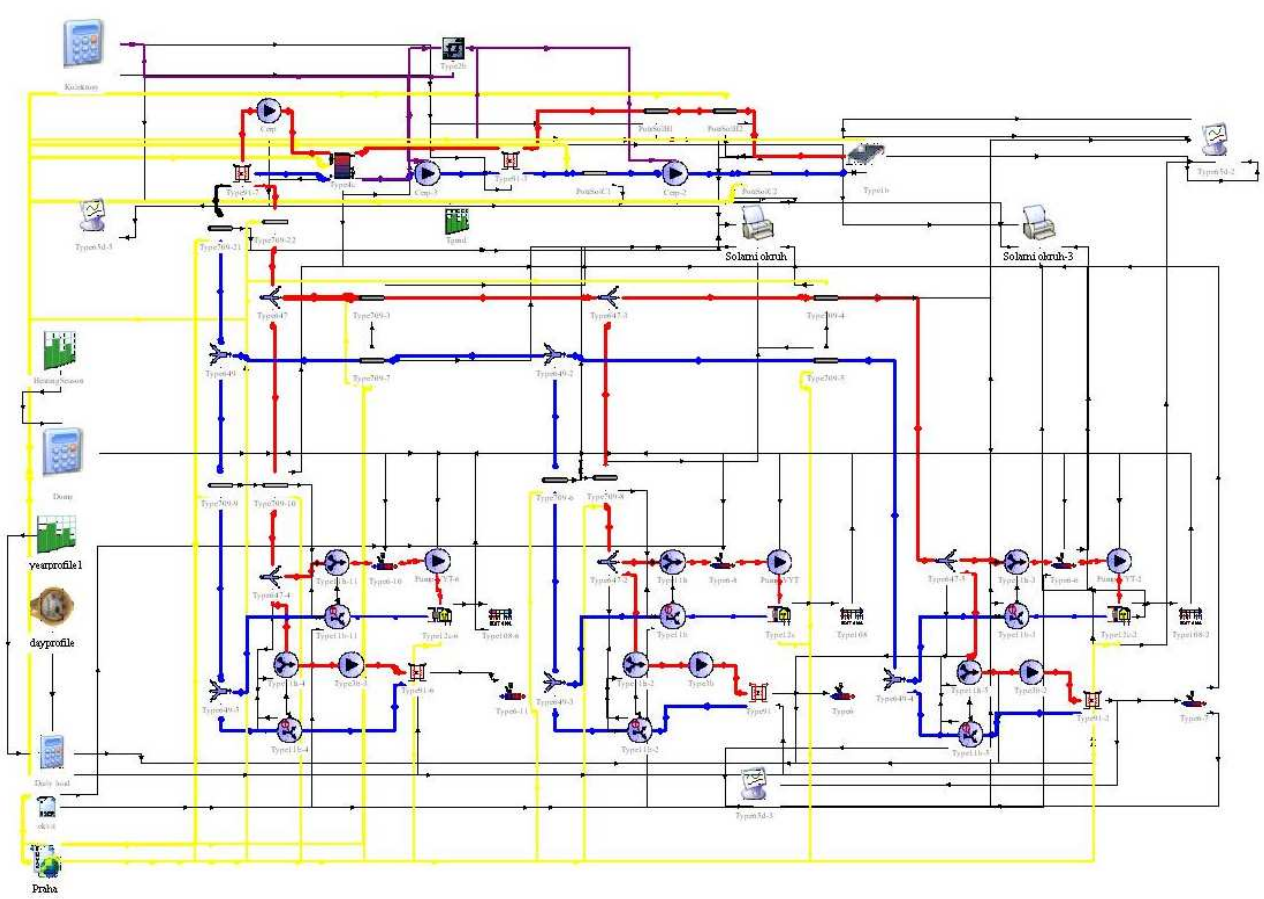
Program umožňuje ukládat do výsledků výstup z libovolného modelu prvku a zároveň umožňuje tento výstup graficky zobrazovat na obrazovce v průběhu výpočtu a sledovat výsledky v průběhu simulace. U rozsáhlejších soustav jsou výpočty časově náročné (v závislosti na zvoleném časovém kroku). K dispozici jsou i některé programové nástavby, jako např. TRNFLOW umožňující vytvořit uzlový model infiltrace či nuceného větrání ve vícezónové budově nebo TRNBUILD pro simulaci budovy.

Model simulované soustavy se skládá z řady navzájem propojených modelů komponent (budova, kolektor, zásobník, potrubí, výměník, aj.), definovaných fyzikálními parametry. Zapojení solární soustavy s vodním zásobníkem je uvedeno v názorném schématu na obrázku 28 a v pracovním schématu v prostředí TRNSYS na obrázku 29. Zapojení solární soustavy se zemním zásobníkem je uvedeno v názorném schématu na obrázku 30 a v pracovním schématu v prostředí TRNSYS na obrázku 31.

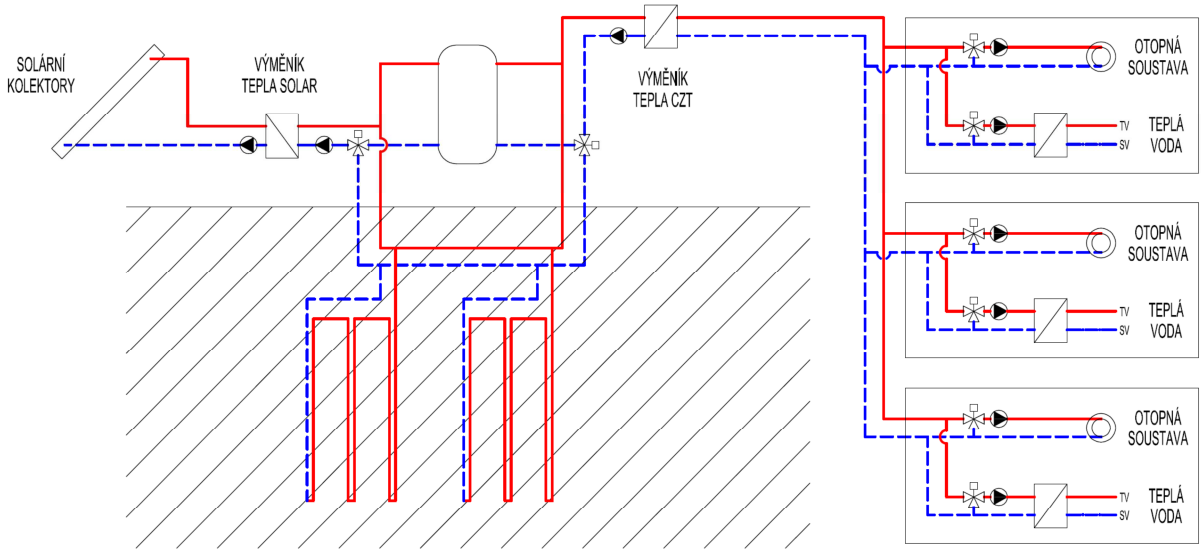
Obrázek 28 – Zjednodušené schéma zapojení solární soustavy ve variantě s vodním zásobníkem



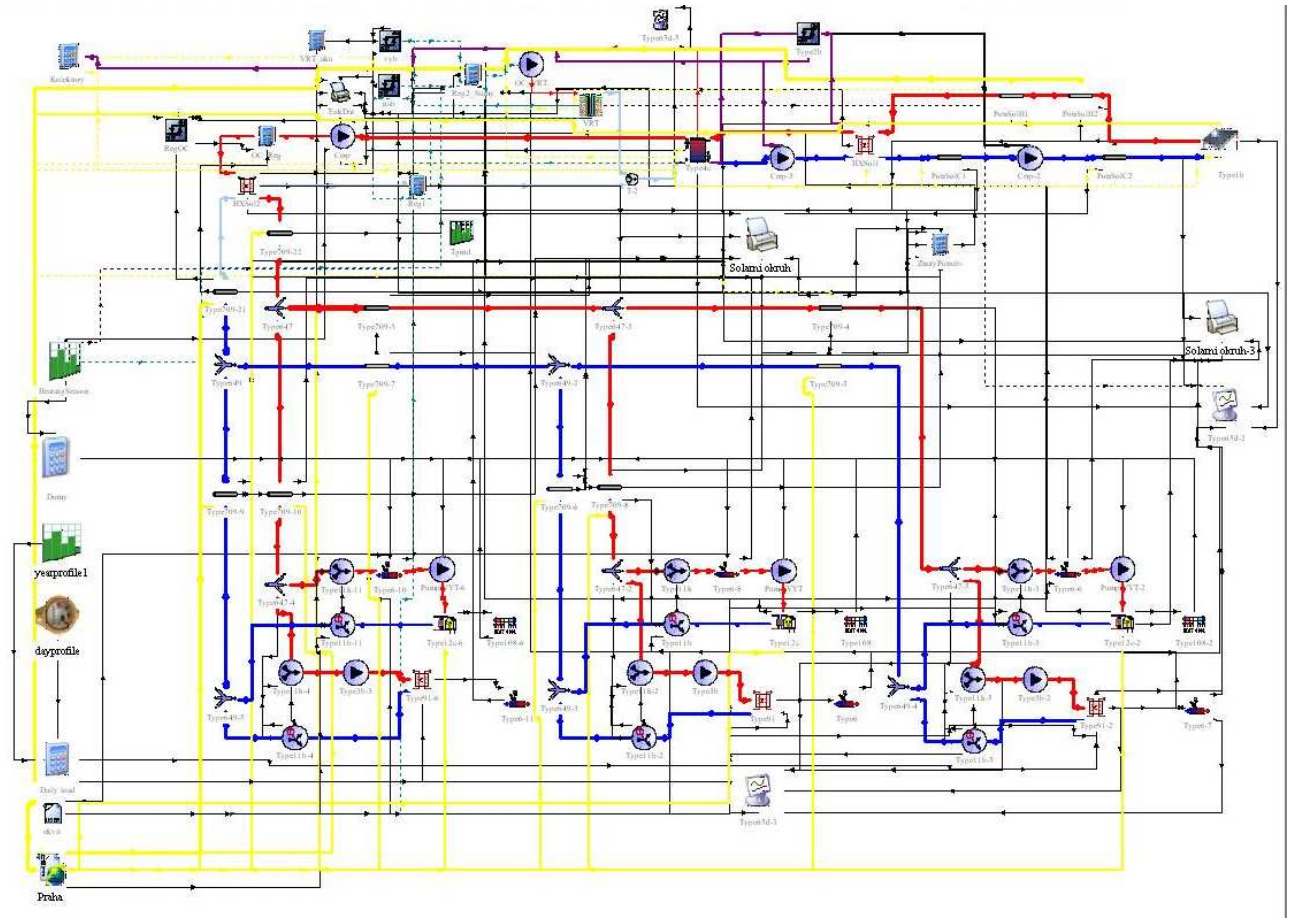
Obrázek 29 – Zapojení simulačního modelu v prostředí TRNSYS ve variantě s vodním zásobníkem



Obrázek 30 – Zjednodušené schéma zapojení solární soustavy ve variantě se zemním zásobníkem



Obrázek 31 – Zapojení simulačního modelu v prostředí TRNSYS ve variantě s vodním zásobníkem



2.2.1 Budova

Pro snížení časové náročnosti simulace byly v simulačním schématu uvažovány tři odběry (tři modely: vytápění, teplá voda) reprezentující předávací stanice relevantní soubor bytových jednotek. Vzhledem k jednotnému odběrovému profilu bytových jednotek je takové řešení možné. Pro vytápění budovy je uvažována kombinovaná komponenta type12c [16], která umožňuje modelování otopné soustavy se sdílením tepla do vnitřního prostoru budovu o dané tepelné ztrátě s uvažováním tepelných zisků, tepelné kapacity budovy. Otopná soustava je uvažována s ekvitermní regulací teploty otopné vody s návrhovým teplotním spádem 55 / 45 °C, teplotní exponent otopných ploch byl uvažován 1,3.

2.2.2 Rozvod CZT

Rozvody vlastní soustavy CZT jsou řešeny zjednodušeně pouze do určitého stupně detailu (páteřní rozvod), nicméně jsou uvažovány odpovídající světlosti rozvodů potrubí pro teplotní spád CZT 65 / 50 °C. Tloušťka tepelné izolace předizolovaného bezkanálově uloženého potrubí (rozvod CZT) byla zvolena ve střední izolační třídě. Rozvod napájí tři předávací stanice pro každou ulici nebo bytový dům sídliště (viz obrázek 27). Výkony a průtoky předávacích stanic jsou stanoveny podle projekčních zvyklostí. Dodatkový zdroj byl uvažován samostatně v každé výměníkové stanici, v rámci simulace sloužil pouze k poskytnutí informace o potřebné dodatkové energii a stanovení pokrytí potřeby tepla solární soustavou v CZT.

Pro modelování rozvodu potrubí (např. pro modelování tepelných ztrát) byla použita komponenta type709 [16].

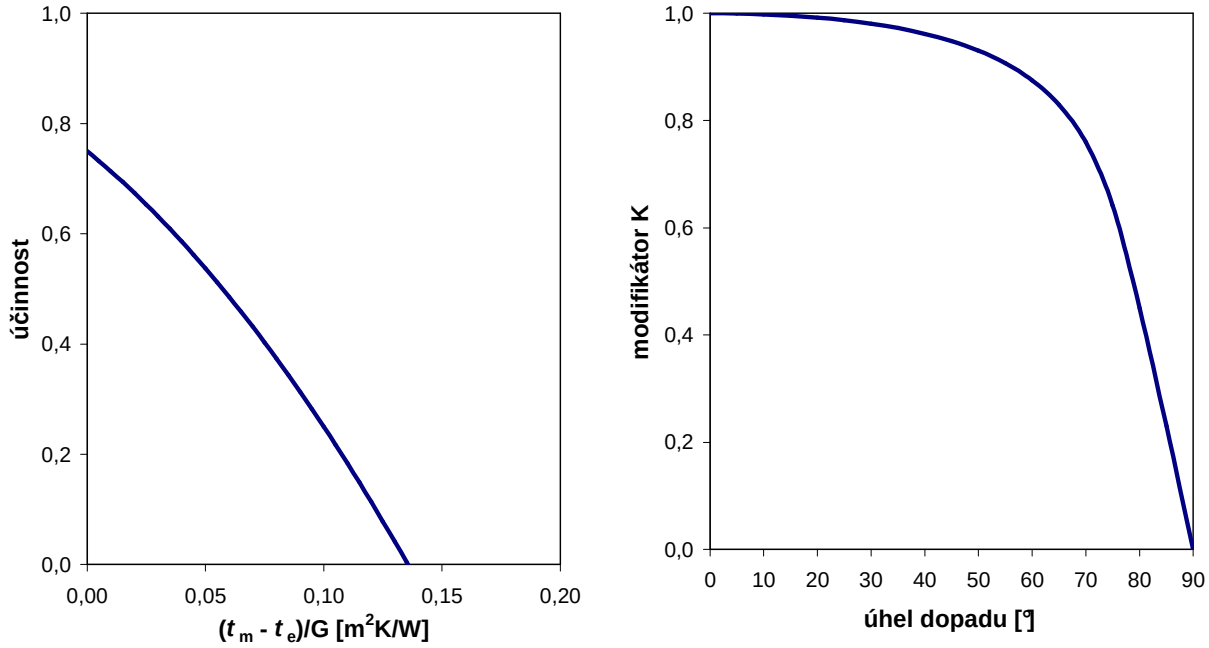
2.2.3 Solární kolektory a rozvod

Pole solárních kolektorů dodává teplo do zásobníku tepla (vodní zásobník, zemní zásobník) přes solární výměník tepla s účinností sdílení tepla 85 %. Velikost kolektorového pole je v různých variantách různá podle požadovaného solárního pokrytí. Pro kolektorové pole byly uvažovány ploché solární kolektory s parametry účinnosti, vztaženými k ploše apertury:

optická účinnost η_0	0,75;
lineární součinitel tepelné ztráty a_1	3,5 W/(m^2.K);
kvadratický součinitel tepelné ztráty a_2	0,015 W/(m^2.K^2);
modifikátor úhlu dopadu K_{50}	0,93.

Charakteristika účinnosti a křivka modifikátoru uvažovaného solárního kolektoru je uvedena v grafu 11. Sklon kolektorů je stejný jako sklon střech domů 45°. Kolektorové pole je provozováno v režimu s nízkým průtokem 10 l/(h.m^2). V kolektorovém poli je uvažována nemrznoucí kapalina s teplotou tuhnutí -32 °C. Solární kolektor byl modelován komponentou type1b [16].

Graf 11 – Křivka účinnosti a křivka modifikátoru solárního kolektoru použitého pro analýzu



Rozvody kolektorového okruhu jsou řešeny zjednodušeně pouze do určitého stupně detailu (páteřní rozvod), nicméně jsou uvažovány světlosti rozvodů potrubí odpovídající průtokům pro různé návrhové parametry (plocha kolektorů pro zvolené pokrytí).

Tloušťka tepelné izolace předizolovaného a bezkanálově uloženého potrubí byla zvolena ve střední izolační třídě. Tabulka 6 uvádí souvislost mezi světlostí potrubí kolektorového okruhu (společně s tloušťkou tepelné izolace) a instalované plochy solárních kolektorů.

Tabulka 6 – Přiřazení světlosti potrubí kolektorové ploše

Plocha kolektorů [m^2]	Světlost potrubí	Tloušťka izolace [mm]		Plocha kolektorů [m^2]	Světlost potrubí	Tloušťka izolace [mm]
do 100	DN20	40		do 2200	DN100	50
do 200	DN25	40		do 3300	DN125	50
do 300	DN32	40		do 5000	DN150	50
do 400	DN40	40		do 9000	DN200	60
do 600	DN50	40		do 14000	DN250	80
do 900	DN65	40		do 17000	DN300	80
do 1400	DN80	40		do 20000	DN350	90

2.2.4 Zásobník tepla vodní

Pro simulaci varianty s vodním zásobníkem je uvažován nadzemní zásobník o výšce 10 m (ve všech variantách) s tepelnou izolací tloušťky 30 cm a tepelnou vodivostí izolace 0,06 W/(m.K).

Vodní zásobník je uvažován s ideálním teplotním vrstvením vodního objemu. Pro modelování zásobníku tepla byla uvažována komponenta type4c [16]. Dlouhodobý i krátkodobý (nárazníkový) zásobník jsou modelovány stejnou komponentou. Maximální teplota v zásobníku byla omezena na 85 ℃. Rozvod CZT je od zásobníku odd ělen deskovým výměníkem (účinnost sdílení tepla 85 %). Výměník tepla na rozvodu CZT byl modelován komponentou type91 [16].

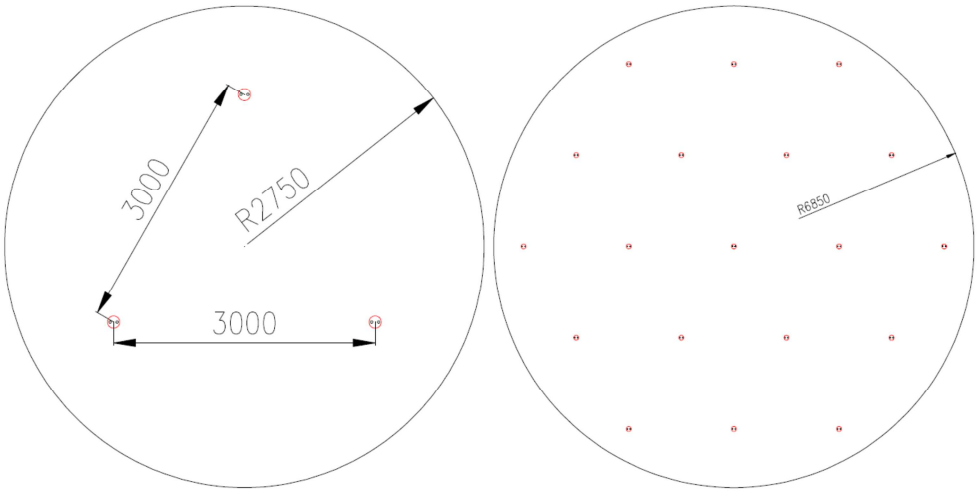
2.2.5 Zásobník tepla zemní

Zemní výměník tepla je tvořen suchými vrty o průměru 150 mm instalovanými s rozestupy 3 m s plastovými trubkami 28x2 mm (viz obrázek 32). Vrty jsou zapojeny sérioparalelně. Uvažovaná tepelná vodivost zemského masivu byla 2,1 W/(m.K), tepelná kapacita 1500 kJ/(m^3.K). Vrty jsou injektovány bentonitem. Maximální teplota v zemním zásobníku byla omezena na 85 ℃.

Paralelně k zemnímu zásobníku je instalován nárazníkový vodní zásobník pro přímé využití solárních zisků. Po nabití zásobníkového akumulátoru se nabíjení přesměrovává trojcestným ventilem do zemních vrtů. Při vybíjení se v případě dostatečné teploty vybíjí zemní zásobník. Výstup ze zemního zásobníku je vždy napojen do ideálně stratifikovaného nárazníkového vodního zásobníku. V případě, že ve vrtech je vyšší teplota než ve vodním zásobníku, ideální stratifikace zajistí převod ohřáté kapaliny přímo do horního výstupu nárazníkového zásobníku. Nárazníkový zásobník je udržován na teplotě o cca 5 až 8 K nad průměrnou teplotou v zemních vrtech.

Pro modelování zemního vrtu byla použita komponenta type557a [16]. Model zemního výměníku uspořádá větší počet vrtů vždy do kruhového tvaru (půdorys zemního akumulátoru je kruhový) s výškou shodnou s hloubkou vrtu. Poměr mezi průměrem zemního zásobníku a hloubkou vrtů je udržován na hodnotě 1,0.

Obrázek 32 – Příklad uspořádání vrtů pro n = 3 a n = 19



2.3 VÝSLEDKY VARIANTY VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

2.3.1 Varianta vytápění a příprava teplé vody s vodním zásobníkem

Varianta s vodním zásobníkem byla analyzována pro soustavu CZT definovanou v kapitole 2.1.2 v rozsahu návrhového pokrytí od 5 % do 100 %. Sledovány byly potřebné návrhové parametry hlavních prvků solární soustavy pro dosažení požadovaného solárního pokrytí:

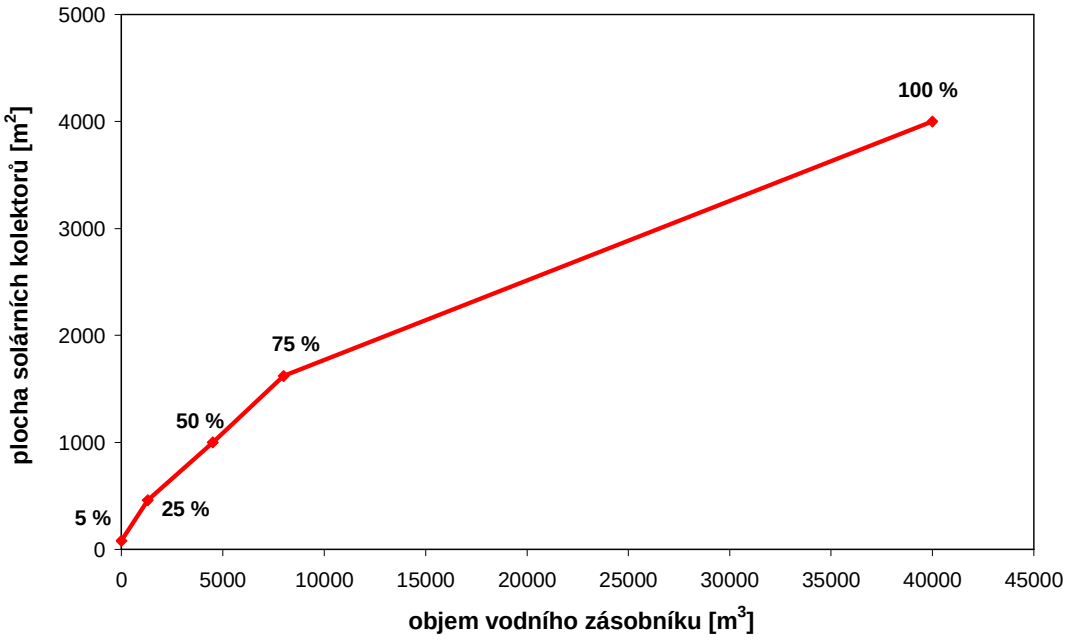
- plocha solárních kolektorů v m^2;
- objem vodního zásobníku v m^3.

Výsledky návrhových parametrů jsou uvedeny v tabulce 7. Zároveň jsou v tabulce uvedeny měrné tepelné zisky ze solární soustavy vztažené k instalované ploše solárních kolektorů a účinnost akumulace v zásobníku tepla.

Tabulka 7 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody s vodním zásobníkem

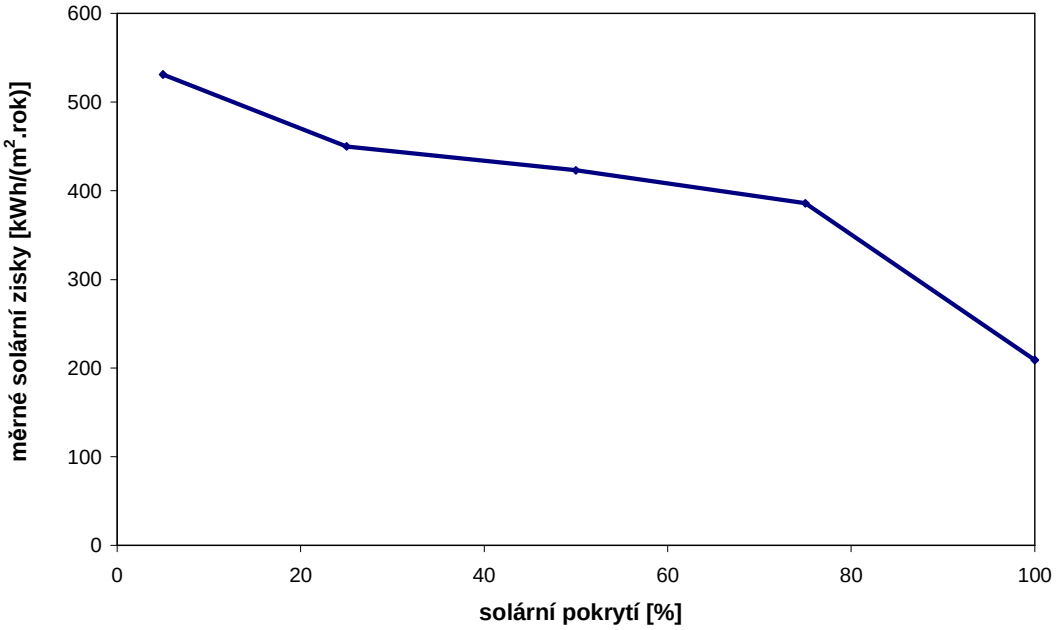
solární pokrytí [%]	**5**	**25**	**50**	**75**	**100**
plocha kolektorů [m^2]	80	460	1000	1625	4000
objem zásobníku [m^3]	4	1300	4500	8000	44000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	531	454	424	387	209
účinnost akumulace v zásobníku [%]	99	86	80	76	45

Graf 12 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník)

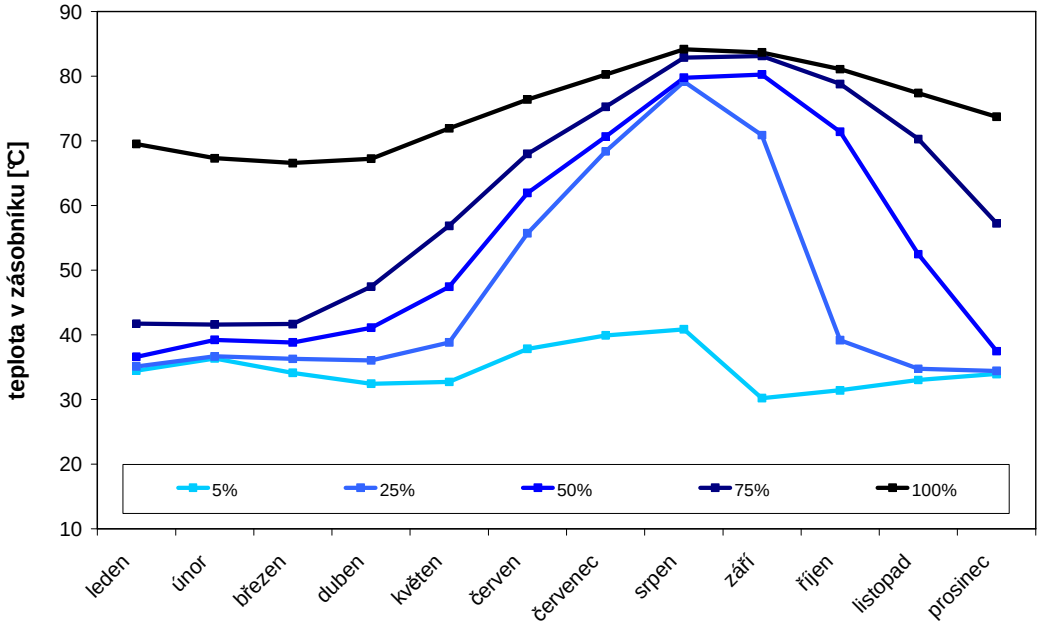


V grafu 12 je názorně zobrazen vztah mezi potřebnou plochou solárních kolektorů a objemem akumulačního zásobníku pro dosažení definovaného návrhového solárního pokrytí. Graf 13 ukazuje vzájemnou souvislost měrných solárních zisků a návrhového solárního pokrytí. Podrobnější výsledky jednotlivých variant (grafy průběhů teplot v zásobníku a grafy energetické bilance) jsou uvedeny v příloze 6.2.1.

Graf 13 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník)



Graf 14 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník)

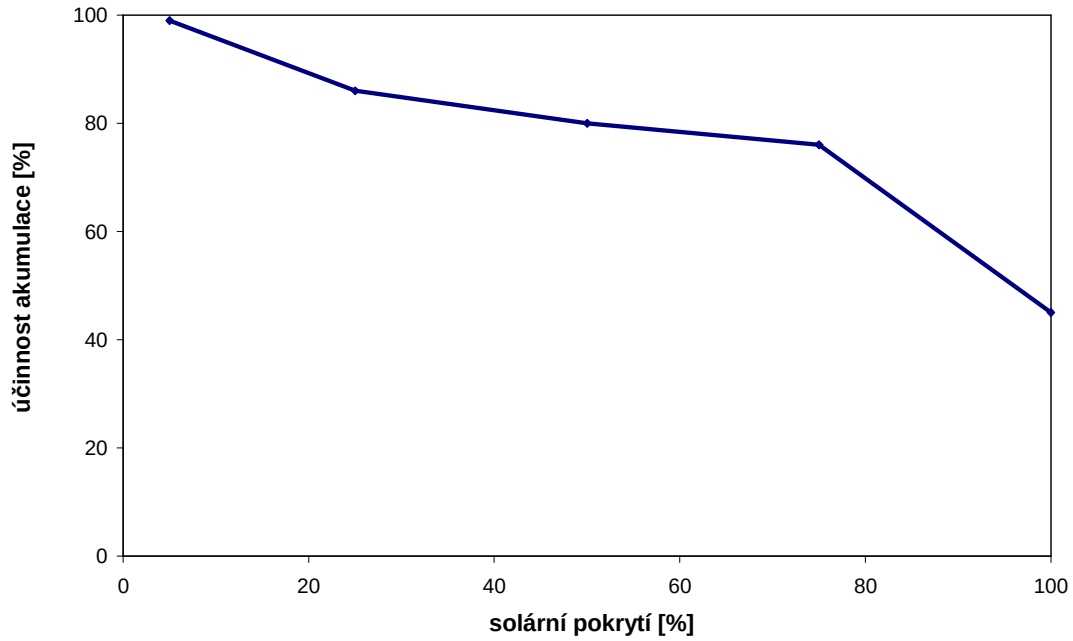


V grafu 14 jsou porovnány průběhy teploty vody v horní části zásobníku během roku v analyzovaných variantách návrhového solárního pokrytí. Je patrné, že pro nízká solární pokrytí slouží zásobníky pouze pro předehřev vratné vody z CZT a teploty vody dosahují nízké úrovně. Rozdíl teplot vody mezi letním a zimním obdobím se pohybuje až okolo 40 K, což umožňuje vysoké využití tepelné kapacity zásobníku. Pro 100% solární pokrytí, kdy solární soustava musí zabezpečit 100 % odběru tepla soustavou CZT, se mezisezónní rozdíly pohybují pouze na úrovni cca 15 K. Je to dáno potřebou zajištění teploty na výstupu akumulačního zásobníku 65 až 70 ℃ pro přípravu teplé vody a vytápění i v nejnepříznivějším období v roce (jaro: březen-duben). Následkem je nízké využití tepelné kapacity zásobníku, potřeba velkých objemů a klesá i účinnost akumulace vlivem zvýšení tepelných ztrát zásobníku.

Nízký nárůst teploty v případě 5% pokrytí je dán návrhovými parametry určenými pouze pro letní předehřev teplé vody bez využití mezisezónní akumulace tepla.

S návrhovými hodnotami solárního pokrytí se mění účinnost akumulace tepla. Pro variantu s nízkým pokrytím se vzhledem k přímému využití akumulovaných solárních zisků pro ohřev vody v letním období a nízké tepelné ztrátě (malý objem zásobníku, nízká provozní teplota) se účinnost pohybuje v oblasti relativně vysokých hodnot nad 80 %. V případě potřeby mezisezónního skladování tepla roste podíl tepelných ztrát a účinnost akumulace klesá. Závislost účinnosti akumulačního zásobníku na solárním pokrytí je uvedena v grafu 15. Z porovnání s průběhem měrných zisků je patrné, že energetické zisky solární soustavy úzce souvisí s účinností akumulace tepla v zásobníku.

Graf 15 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, vodní zásobník)



2.3.2 Varianta vytápění a příprava teplé vody se zemním zásobníkem

Varianta s dlouhodobým zemním zásobníkem pracujícím sério-paralelně s nárazovým vodním zásobníkem byla analyzována pro soustavu CZT definovanou v kapitole 2.1.2 v rozsahu pokrytí od 5 % do prakticky 100 %. Sledovány byly potřebné návrhové parametry pro dosažení požadovaného solárního pokrytí:

- plocha solárních kolektorů v m^2;
- objem zemního zásobníku v m^3, daný počtem vrtů, hloubkou a roztečí.

Objem nárazníkového zásobníku byl volen podle plochy solárních kolektorů (50 l/m^2). Výsledky návrhových parametrů jsou uvedeny v tabulce 8. Zároveň jsou v tabulce uvedeny měrné tepelné zisky ze solární soustavy vztažené k instalované ploše solárních kolektorů a účinnost akumulace tepla v zemním zásobníku (suchých vrtech).

Tabulka 8 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody se zemním zásobníkem

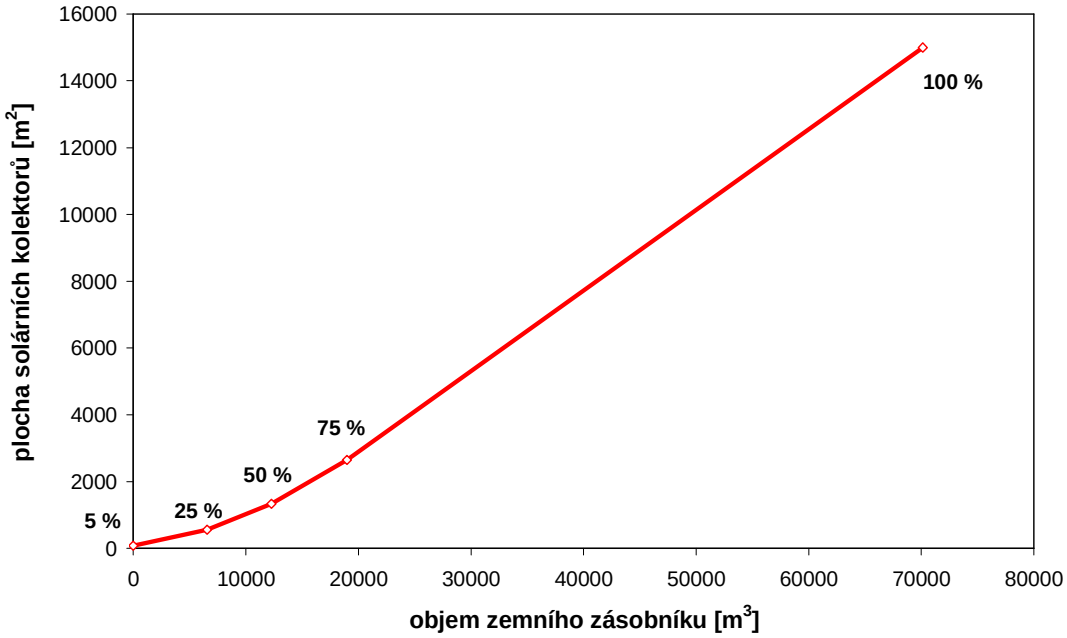
solární pokrytí [%]	**5**	**25**	**50**	**75**	**99**
plocha kolektorů [m^2]	80	560	1340	2650	15000
objem pohotovostního vodního zásobníku [m^3]	4	28	67	132	750
objem zemního zásobníku [m^3]	0	6546	12274	18984	70138
počet vrtů / hloubka	0 / 0	42 / 20	63 / 25	84 / 29	200 / 45
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	531	377	312	238	56
účinnost akumulace ve vrtech [%]	-	37	45	46	24

V grafu 16 je názorně zobrazen vztah mezi potřebnou plochou solárních kolektorů a objemem akumulačního zásobníku pro dosažení definovaného návrhového solárního pokrytí. Podobně jako u vodního zásobníku je patrný výrazný rozdíl mezi pokrytí 75 % a 100 % potřeby tepla.

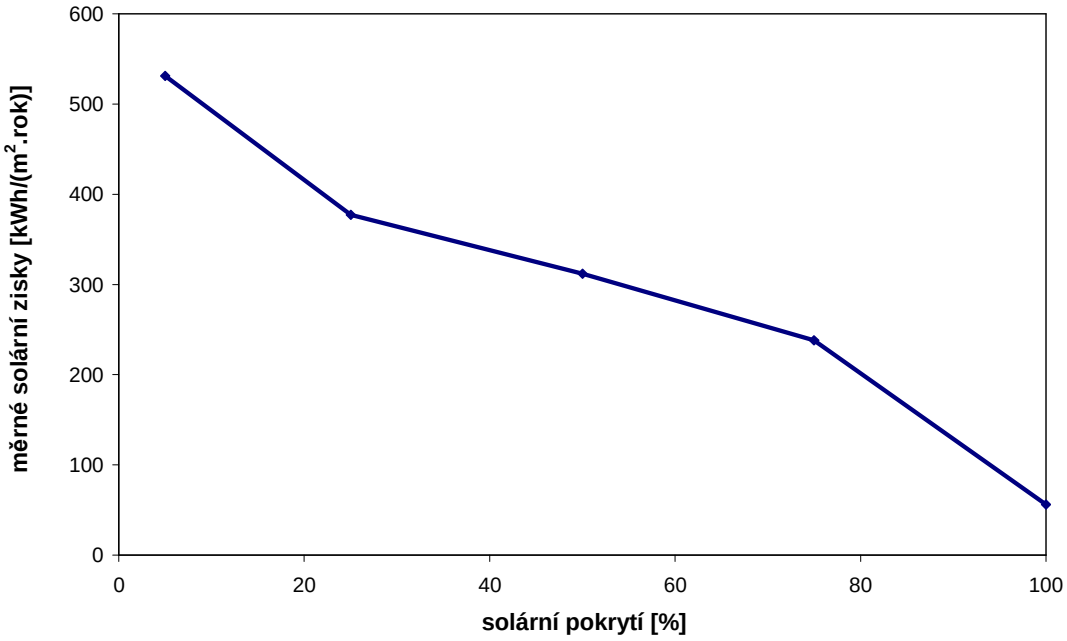
Pro nízké solární pokrytí 5 % není akumulace v zemském masivu nutná (0 m^3) a postačuje běžně navržený nárazníkový zásobník při dané ploše solárních kolektorů. Naopak malý zemní zásobník by byl zatížen vysokou tepelnou ztrátou a není pro tuto variantu vhodný.

Graf 17 ukazuje vzájemnou souvislost měrných solárních zisků a návrhového solárního pokrytí. Zisky velmi rychle klesají s rostoucím pokrytím potřeby. Pro vysoké hodnoty návrhového pokrytí dosahuje solární soustava se zemním zásobníkem velmi nízkých hodnot měrných zisků pod úrovní 100 kWh/(m^2.rok). Podrobnější výsledky jednotlivých variant (grafy průběhů teplot v zásobníku a grafy energetické bilance) jsou uvedeny v příloze 6.2.2.

Graf 16 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník)



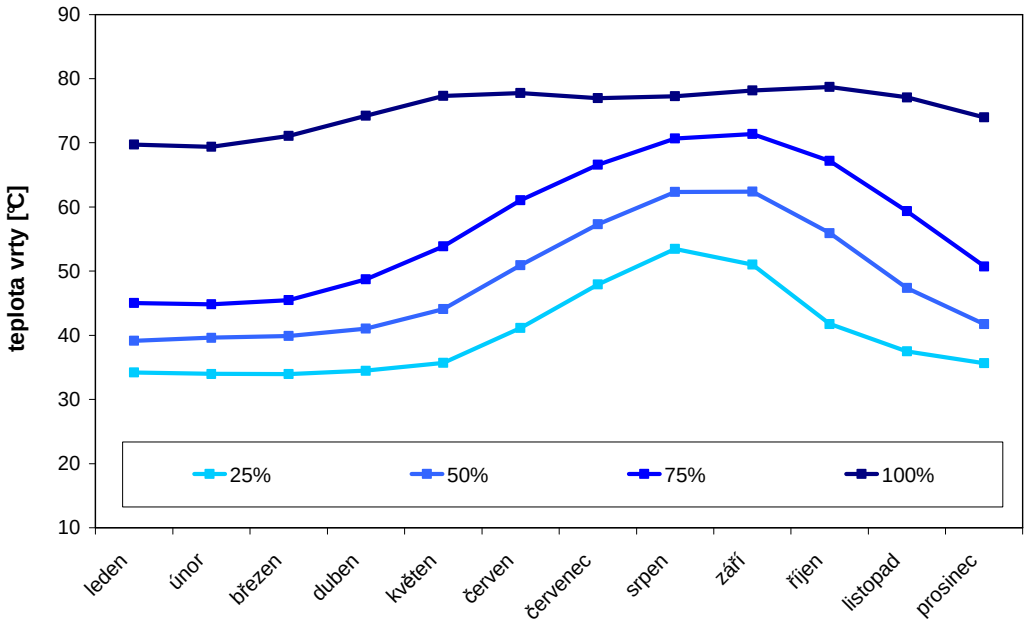
Graf 17 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník)



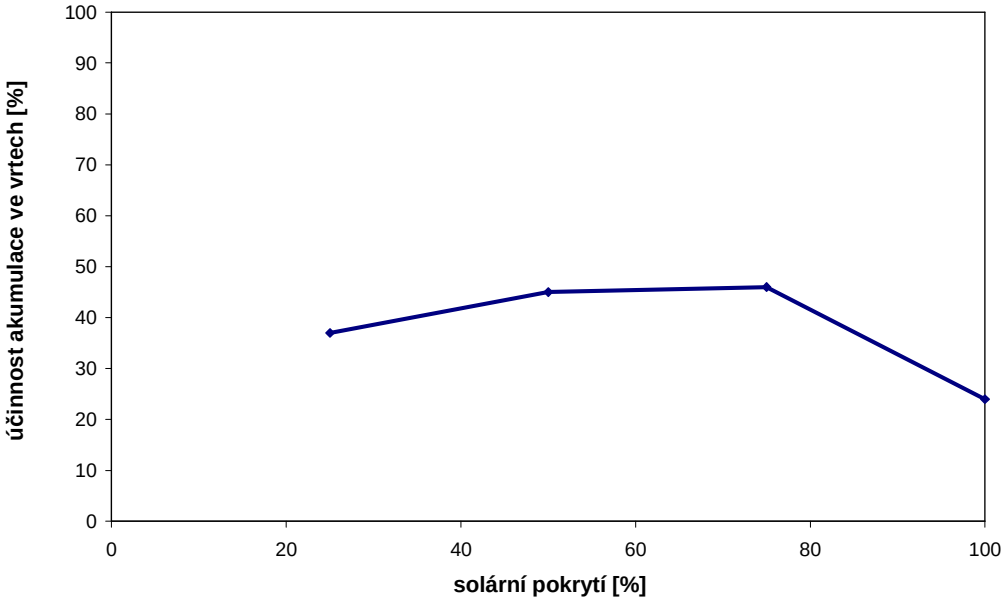
V grafu 18 jsou porovnány průběhy průměrné teploty v objemu zemního zásobníku během roku v analyzovaných variantách návrhového pokrytí (bez 5 %). Pro nízké solární pokrytí dosahuje zásobník nízkých hodnot mezisezónních teplotních rozdílů, okolo 15 až 20 K. Je to dáno jednak výrazně nižší akumulační schopností zásobníku, větší setrvačností odezvy zásobníku, nižší

tepelné vodivosti akumulačního materiálu a vyšším tepelným ztrátám do neomezeného polomasivu. Tomu odpovídá i výrazně nižší účinnost zemního akumulátoru než v případě zásobníku vodního (viz dále). Pro 100% solární pokrytí, kdy solární soustava musí zabezpečit 100 % odběru tepla soustavou CZT, se mezisezónní rozdíly teplot v zásobníku pohybují pouze na úrovni cca 10 K, což vyjadřuje nízkou hustotu akumulace a potřebu velkých objemů.

Graf 18 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník)



Graf 19 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění a příprava teplé vody, zemní zásobník)



Účinnost akumulace je výrazně nižší než v případě vodního akumulátoru, téměř poloviční. Nejvyšších hodnot účinnosti dosahuje akumulace ve variantách mezi 50% a 75% pokrytím. Závislost účinnosti akumulačního zásobníku na solárním pokrytí je uvedena v grafu 20. Nízká účinnost akumulace v zemních vrtech vede k nízké celkové účinnosti soustavy 20 až 30 % (v extrémním případě 100% dokonce 5% účinnost), vyjádřené měrnými zisky.

2.4 VÝSLEDKY VARIANTY VYTÁPĚNÍ

2.4.1 Varianta vytápění s vodním zásobníkem

Varianta s vodním zásobníkem byla analyzována pro soustavu CZT definovanou v kapitole 2.1.2 v rozsahu návrhového pokrytí od 5 % do 100 %. V letním období nedochází k odběru tepla a sluneční energie je pouze akumulována do zásobníku tepla. Sledovány byly potřebné návrhové parametry hlavních prvků solární soustavy pro dosažení požadovaného solárního pokrytí:

- plocha solárních kolektorů v m^2;
- objem vodního zásobníku v m^3.

Výsledky návrhových parametrů jsou uvedeny v tabulce 9. Zároveň jsou v tabulce uvedeny měrné tepelné zisky ze solární soustavy vztažené k instalované ploše solárních kolektorů a účinnost akumulace v zásobníku tepla.

Tabulka 9 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění s vodním zásobníkem

solární pokrytí [%]	**5**	**25**	**50**	**75**	**100**
plocha kolektorů [m^2]	84	410	850	1340	2500
objem zásobníku [m^3]	310	1600	4250	8375	23000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	408	418	400	380	272
účinnost akumulace v zásobníku [%]	75	80	77	72	55

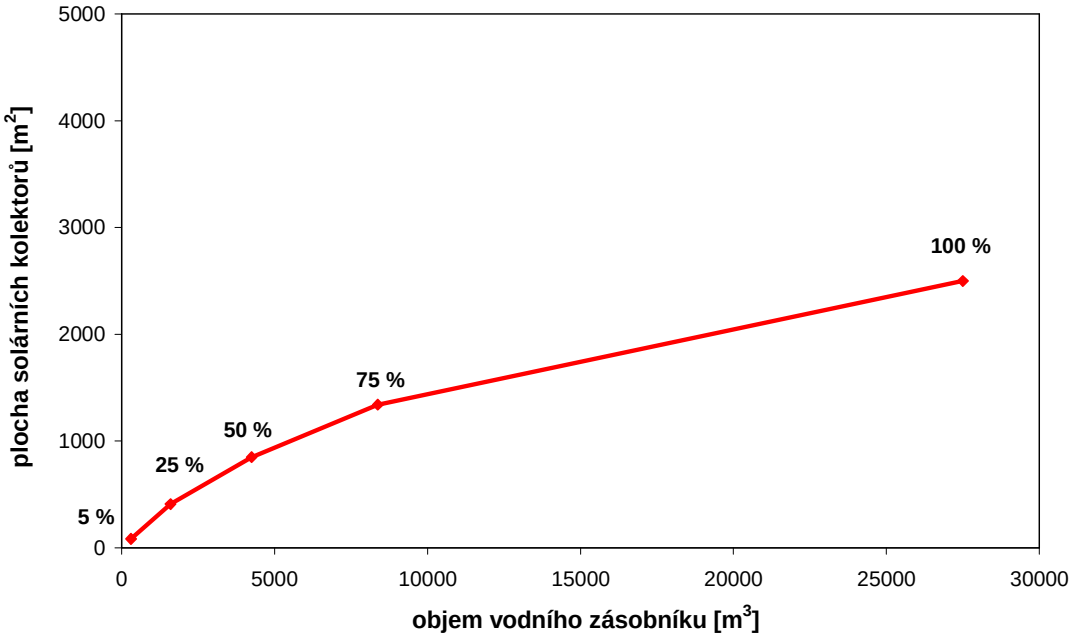
V grafu 20 je názorně zobrazen vztah mezi potřebnou plochou solárních kolektorů a objemem akumulačního zásobníku pro dosažení definovaného návrhového solárního pokrytí.

Graf 21 ukazuje vzájemnou souvislost měrných solárních zisků a návrhového solárního pokrytí. Podrobnější výsledky jednotlivých variant (grafy průběhů teplot v zásobníku a grafy energetické bilance) jsou uvedeny v příloze 6.2.3.

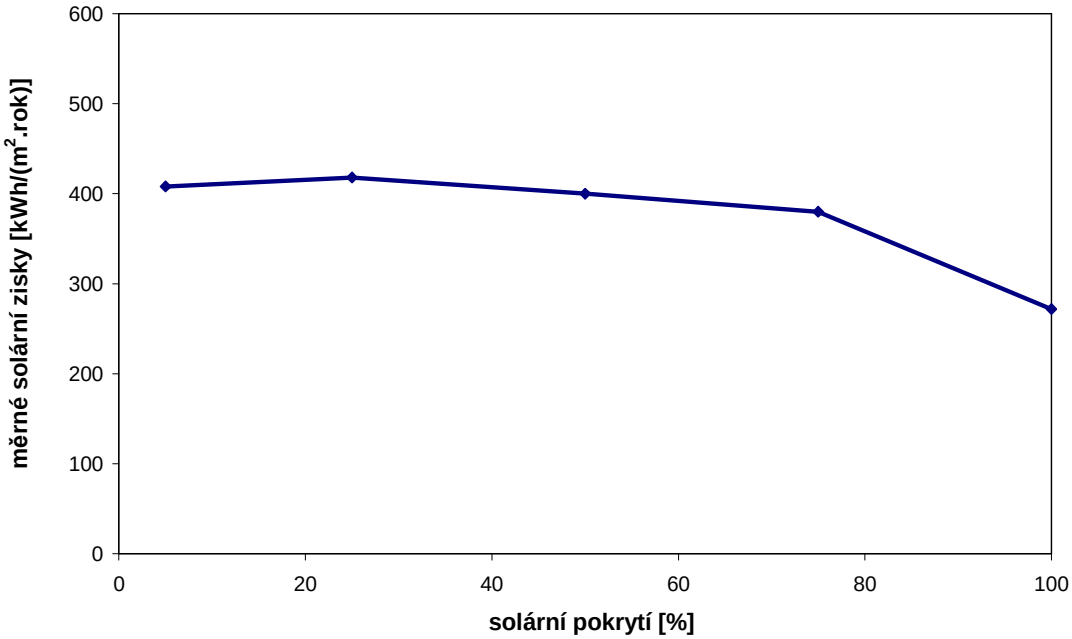
V grafu 22 jsou porovnány průběhy teploty vody v horní části zásobníku během roku v analyzovaných variantách návrhového pokrytí. Oproti variantě soustavy vytápění s přípravou teplé vody je u soustavy bez přípravy teplé vody nutné využití mezisezónní akumulace tepla i při nízkých hodnotách solárního pokrytí (akumulace solárních zisků v letním období do akumulátoru bez odběru tepla). Z toho vyplývá i výrazný nárůst teploty v akumulačním zásobníku pro 5% pokrytí. Je patrné, že pro nízká solární pokrytí slouží zásobníky jako letní akumulátory tepla využívaného zkraje otopné sezóny. Nárůst teploty v zásobníku začíná v březnu/dubnu, kdy je

zásobník na nejnižší teplotě a zásobník udrží využitelnou teplotu podle návrhového pokrytí (plochy kolektorů, objemu zásobníku) do příslušné části otopné sezóny (října pro 25 %, listopadu pro 50 %, prosince pro 75 %).

Graf 20 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění, vodní zásobník)

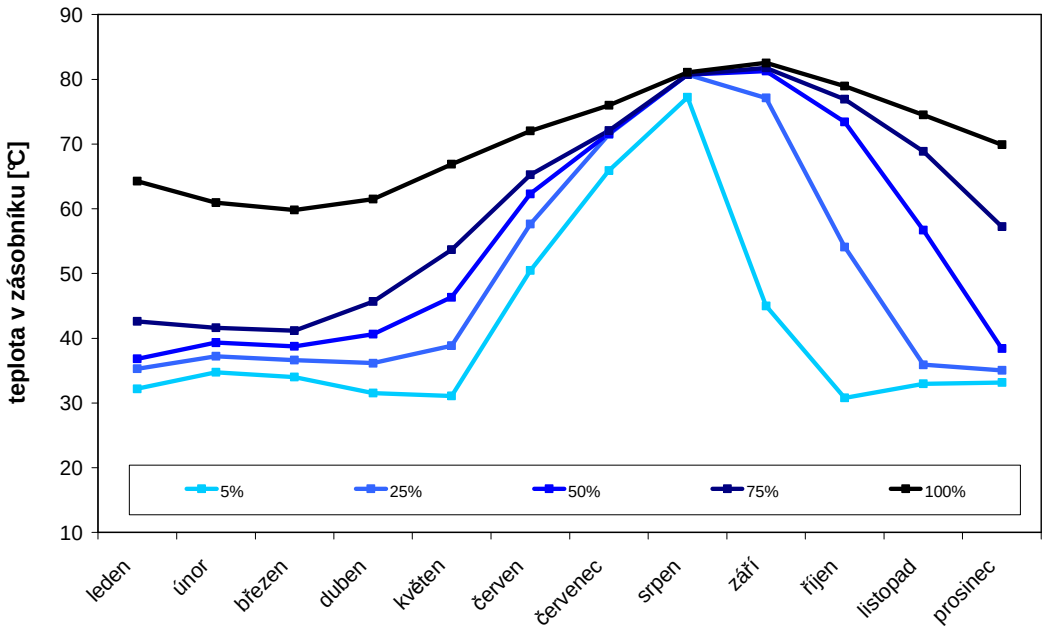


Graf 21 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění, vodní zásobník)

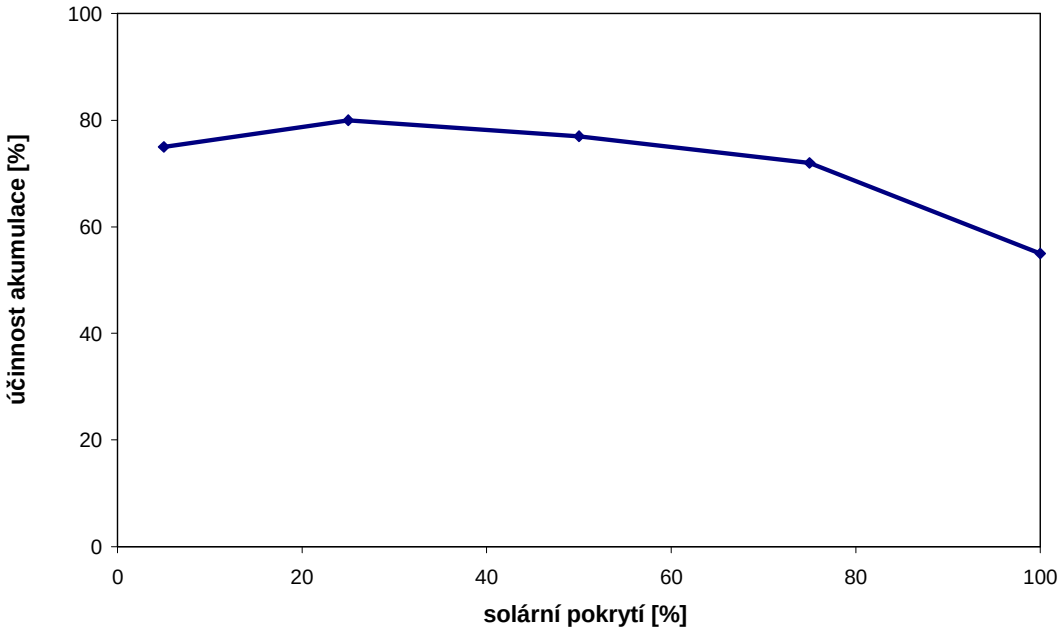


Rozdíl teplot vody mezi letním a zimním obdobím se pohybuje až okolo 40 K, což umožňuje vysoké využití tepelné kapacity zásobníku. Pro 100% solární pokrytí, kdy solární soustava musí zabezpečit 100 % odběru tepla soustavou CZT, se mezisezónní rozdíly pohybují pouze na úrovni cca 20 K. Následkem je nízké využití tepelné kapacity zásobníku, potřeba velkých objemů a klesá i účinnost akumulace vlivem zvýšení tepelných ztrát zásobníku a roční měrné zisky ze solární soustavy.

Graf 22 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění, vodní zásobník)



Graf 23 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění, vodní zásobník)



I přes nutnost mezisezónní akumulace letních zisků i při nízkých hodnotách solárního pokrytí je účinnost akumulace u vodního zásobníku na relativně vysoké úrovni okolo 70 %. S tím souvisí i relativně vysoké měrné solární zisky na úrovni 400 kWh/(m^2.rok). Při hodnotách vysokého pokrytí nad 75 % klesá účinnost akumulace i měrné solární zisky a tedy účinnost celé soustavy. Závislost účinnosti akumulačního zásobníku na solárním pokrytí je uvedena v grafu 23.

2.4.2 Varianta vytápění se zemním zásobníkem

Varianta s dlouhodobým zemním zásobníkem pracujícím sério-paralelně s nárazovým vodním zásobníkem byla analyzována pro soustavu CZT definovanou v kapitole 2.1.2 v rozsahu pokrytí od 5 % do prakticky 100 %. V letním období nedochází k odběru tepla a sluneční energie je pouze akumulována do zásobníku tepla. Sledovány byly potřebné návrhové parametry pro dosažení požadovaného solárního pokrytí:

- plocha solárních kolektorů v m^2;
- objem zemního zásobníku v m^3, daný počtem vrtů, hloubkou a roztečí;

Objem nárazníkového zásobníku byl volen podle plochy solárních kolektorů (50 l/m^2). Výsledky návrhových parametrů jsou uvedeny v tabulce 10. Zároveň jsou uvedeny měrné tepelné zisky ze solární soustavy vztažené k instalované ploše solárních kolektorů a účinnost akumulace tepla v zemním zásobníku (suchých vrtech).

Tabulka 10 – Návrhové parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody se zemním zásobníkem

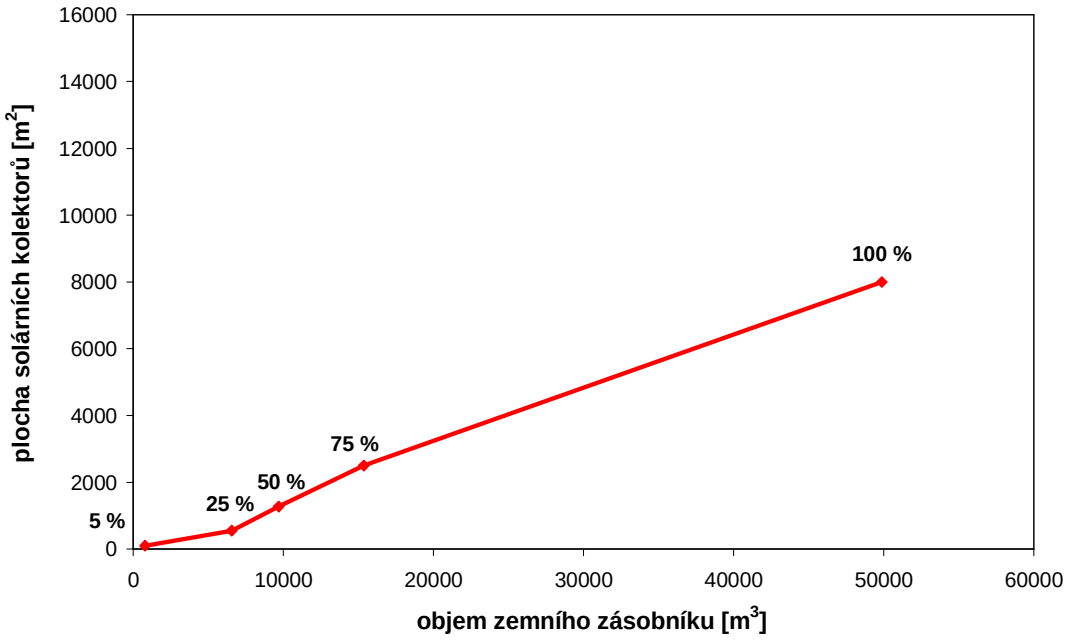
solární pokrytí [%]	**5**	**25**	**50**	**75**	**100**
plocha kolektorů [m^2]	105	550	1280	2500	8000
objem pohotovostního vodního zásobníku [m^3]	5,3	27,5	64	125	400
objem zemního zásobníku [m^3]	779	6546	9679	15360	49876
počet vrtů / hloubka	10 / 10	42 / 20	54 / 23	73 / 27	160 / 40
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	325	314	268	204	85
účinnost akumulace ve vrtech [%]	14	36	42	43	30

V grafu 24 je názorně zobrazen vztah mezi potřebnou plochou solárních kolektorů a objemem akumulačního zásobníku pro dosažení definovaného návrhového solárního pokrytí. Oproti variantě kombinující vytápění a přípravu teplé vody je ve variantě bez přípravy teplé vody vlivem absence letního odběru nutná akumulace v zemském masivu nutná i pro nízké solární pokrytí 5 %.

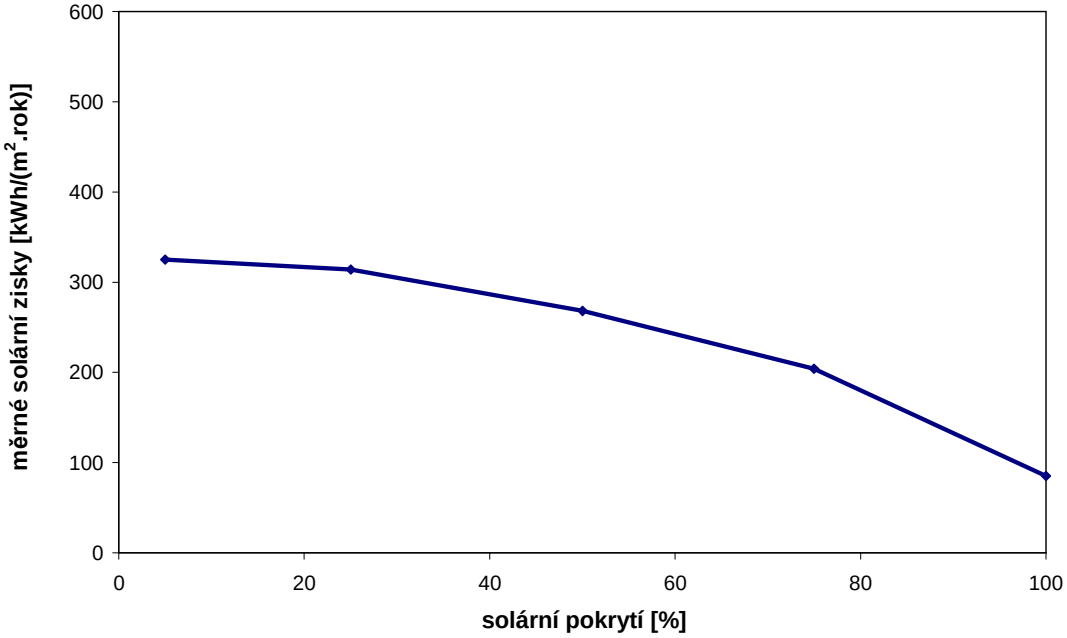
Graf 25 ukazuje vzájemnou souvislost měrných solárních zisků a návrhového solárního pokrytí. Obecně jsou měrné zisky v solární soustavě pro vytápění se zemním zásobníkem na nízké úrovni **pod 350 kWh/(m^2.rok)**. Pro vysoké hodnoty návrhového pokrytí dosahuje solární soustava se zemním zásobníkem velmi nízkých hodnot měrných zisků pod úrovní 200 kWh/(m^2.rok), při pokrytí

100 % dokonce na úrovni 50 kWh/(m^2.rok). Podrobnější výsledky jednotlivých variant (grafy průběhů teplot v zásobníku a grafy energetické bilance) jsou uvedeny v příloze 6.2.4.

Graf 24 – Požadovaná plocha kolektorů a objem zásobníku pro definované solární pokrytí (vytápění, zemní zásobník)



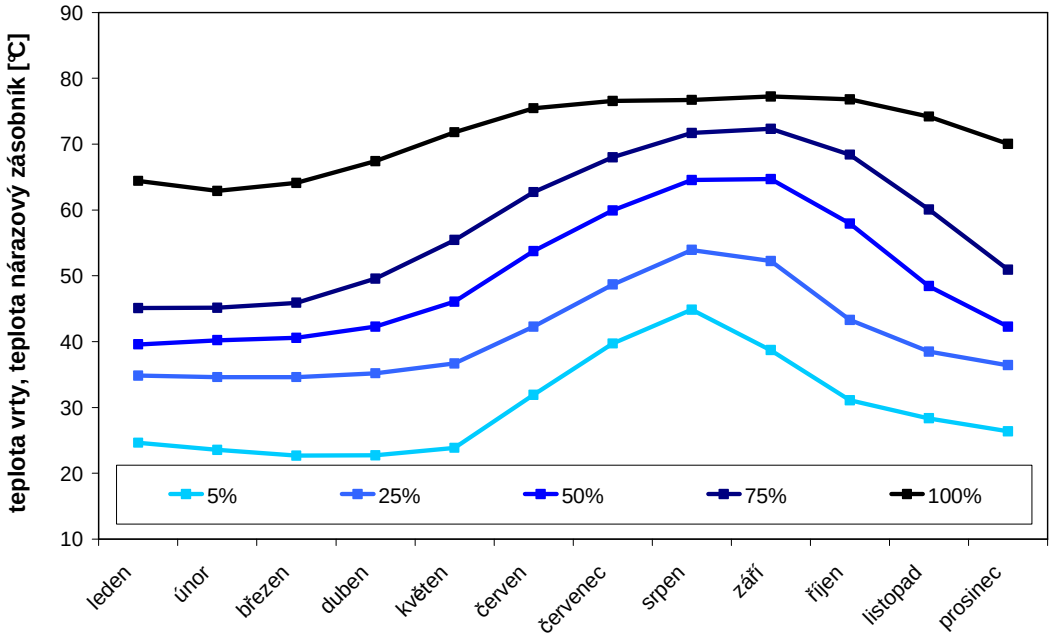
Graf 25 – Souvislost mezi návrhovým solárním pokrytím a provozními měrnými zisky (vytápění, zemní zásobník)



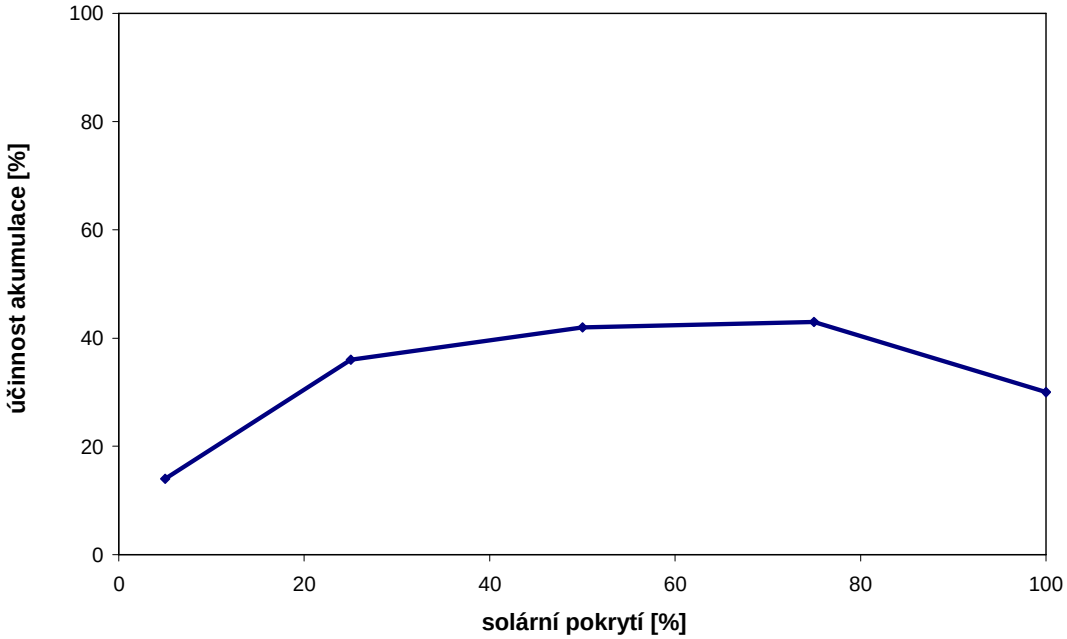
V grafu 26 jsou porovnány průběhy průměrné teploty v objemu zemního zásobníku během roku v analyzovaných variantách návrhového pokrytí. V obecné rovině platí v podstatě stejné závěry

jako u varianty vytápění a přípravy teplé vody: nízké teplotní rozdíly, nízká hustota akumulace a účinnost, které se promítají do celkově nízké účinnosti solární soustavy (viz graf 27) při porovnání s variantou vodního zásobníku.

Graf 26 – Průběh teplot ve vodních zásobnících tepla pro varianty s různým návrhovým pokrytím (vytápění, zemní zásobník)



Graf 27 – Závislost účinnosti akumulace na návrhovém solárním pokrytí (vytápění, zemní zásobník)



2.5 VÝSLEDKY PRO VELKOU SOUSTAVU CZT – FAKTOR 10

Modelová referenční soustava CZT v kapitole 2.1.2 byla definována pro účely energetické analýzy a nalezení vztahů mezi návrhovým pokrytím a velikostí hlavních prvků solární soustavu pro krytí potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Vycházela z modelu vytvořeného pro analýzy CZT původně určeného pro sídliště rodinných domů [15] zásobovaných ze společné plynové kotelny. Pro ekonomické hodnocení je však důležité mít jistotu, že parametry získané z uvedené analýzy jsou obecně platné i pro větší sídlištní celky, kde lze se zvýšením ploch a objemů očekávat snížení měrné ceny prvků a tedy lepší ekonomické podmínky instalace.

Platnost byla ověřována na solární soustavě pro CZT pro vytápění a přípravu teplé vody s parametry desetinásobně většími než u modelované soustavy.

Zvětšené parametry na straně odběru tepla:

- spotřeba tepla na přípravu teplé vody: 1,57 GWh/rok
- spotřeba tepla na vytápění: 6,78 GWh/rok
- výkony 3 předávacích stanic: á 750 kW
- rozvody CZT (přepočteny pro nové podmínky)

Zvětšené parametry na straně zdroje tepla (solární soustava):

- plocha kolektorů pro dané solární pokrytí 10 x
- objem zásobníku pro dané solární pokrytí 10 x

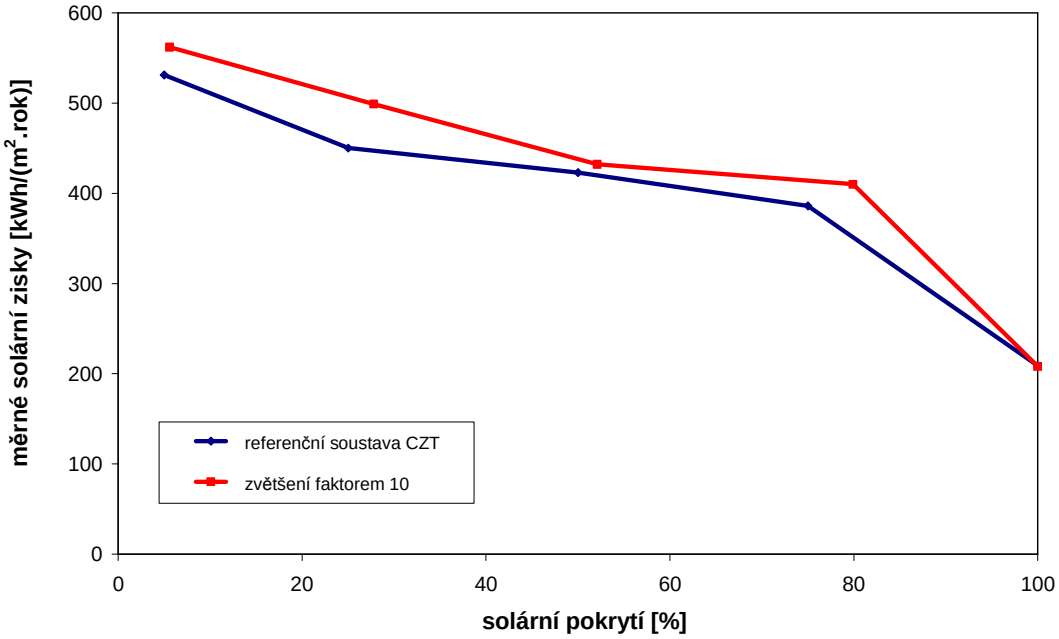
Pro simulační analýzu byl použit stejný simulační model v TRNSYS, pouze s jinými návrhovými parametry. Použité parametry jsou uvedeny ve výsledkové tabulce 11.

Tabulka 11 – Parametry solární soustavy CZT pro vytápění a přípravu teplé vody s vodním zásobníkem (FAKTOR10 - desetinásobná potřeba tepla oproti hlavní analýze)

solární pokrytí [%]	**5.6**	**27.8**	**52.1**	**79.9**	**100**
plocha kolektorů [m^2]	800	4600	10000	16250	40000
objem zásobníku [m^3]	40	13000	45000	80000	440000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	562	499	432	410	208

V grafu 28 je provedeno porovnání měrných zisků v závislosti na solárním pokrytí pro obě soustavy: původní a s desetinásobnou potřebou tepla (FAKTOR10). Měrné zisky se pohybují v průměru o cca 6 až 10 % výš pro dané návrhové pokrytí. Je možné proto výsledky určené na malé modelové referenční soustavě CZT použít jako konzervativní hodnoty pro ekonomické analýzy i pro větší soustavy.

Graf 28 – Souvislost měrných zisků a solárního pokrytí pro různě velké soustavy CZT



2.6 VLIV ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV

Zohlednění vlivu energetické náročnosti budov na návrhové a provozní parametry solární soustavy pro CZT bylo provedeno pro variantu vytápění a přípravy teplé vody s vodním zásobníkem. Pro modelové sídliště rodinných domů byly uvažovány tři různé kategorie energetické náročnosti (pasivní domy, nízkoenergetické domy, běžný standard). Dispozice sídliště je podrobněji popsána v kapitole 2.1.2.

2.6.1 Vstupní podmínky

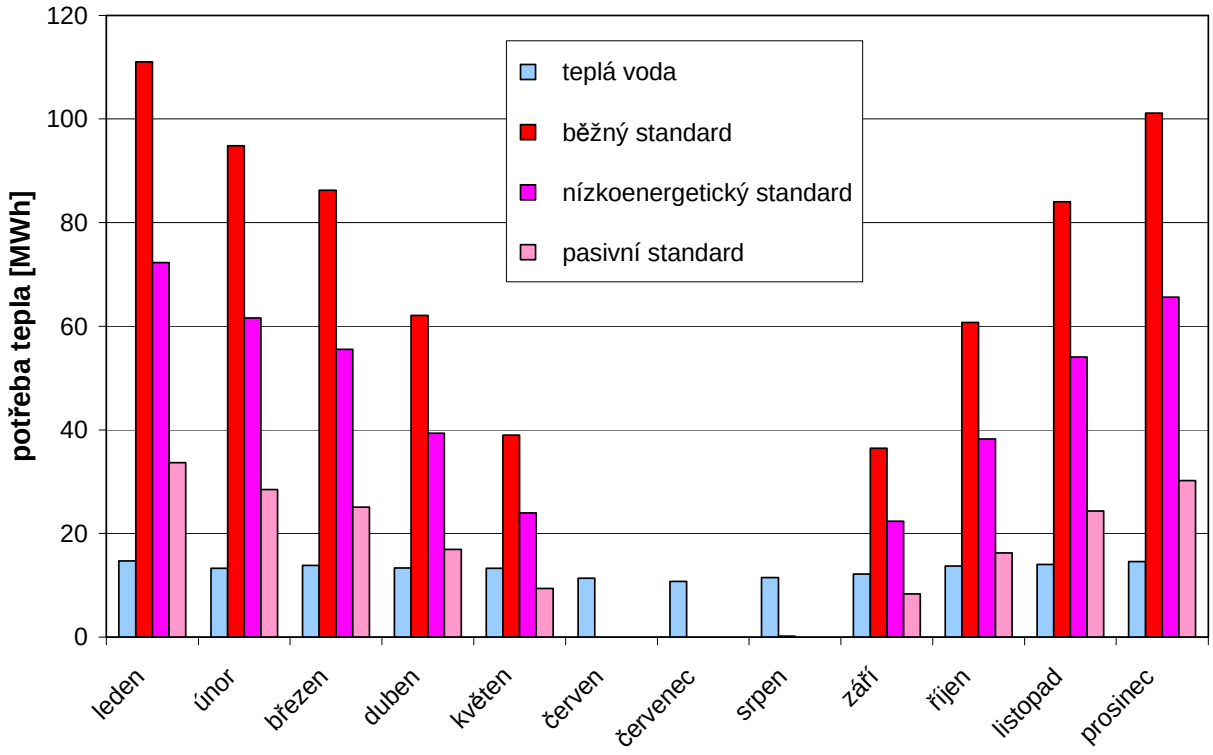
Návrhové parametry rodinných domů v uvažovaných kategoriích jsou uvedeny v tabulce 12. V každé kategorii energetické náročnosti je uvažován jiný teplotní spád otopné soustavy odpovídající energetické náročnosti budov při použití nízkoteplotního vytápění. Příprava teplé vody byla uvažována pro všechny kategorie domů shodná (viz kapitola 2.1.2). Podíl potřeby tepla na přípravu teplé vody na celkové spotřebě tepla v CZT se pohybuje od 19 % (běžný standard) do 45 % (pasivní standard).

Pro vyhodnocení a analýzu provozního chování solární soustavy pro CZT byl použit již vytvořený matematický model v simulačním prostředí TRNSYS. Parametry rozvodů CZT zůstávají neměnné s ohledem na stejnou přípravu teplé vody, která má zásadní výkonovou náročnost. Způsob získávání návrhových parametrů – plochy solárních kolektorů a objemu akumulačního zásobníku je stejný jako v hlavní analýze, viz kapitola 2.

Tabulka 12 – Parametry rodinných domů sídelního celku v různém stupni energetické náročnosti

energetická náročnost domů	běžný standard	nízkoenergetický standard	pasivní standard
tepelná ztráta domu [W]	4000	2700	1400
měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m^2]	80	50	20
potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	12000	7500	3000
potřeba tepla na přípravu TV [kWh/rok]	2900	2900	2900
teplotní spád otopné soustavy [℃/℃]	55 / 45	45 / 37,5	35 / 30

Graf 29 – Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody v CZT s budovami s různou energetickou náročností



2.6.2 Výsledky

Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulkách 13 až 15 a v grafech 30 až 32. Výsledky ukazují, že velikost solární soustavy je pro nižší solární pokrytí silně ovlivněna energetickou náročností budov (viz obrázek 30). Nízké provozní teploty v otopné soustavě a předehřevu teplé vody zvýhodňují pasivní domy v podobě vyšších měrných zisků (vyšší účinností) ze solární soustavy (viz obrázek 31). S rostoucím pokrytím, zvláště pak u úrovně 100 % má výrazný vliv na měrné zisky příprava teplé vody. Proto u vysokých hodnot solárního pokrytí potřeby tepla u pasivních domů (s výrazným podílem přípravy teplé vody) klesají měrné zisky a tedy i účinnost soustavy pod hodnoty dosahované u domů v nízkoenergetickém či běžném standardu. Zatímco pro nižší solární pokrytí se v pasivních domech do určité míry projevuje vliv nižší teploty vratné otopné vody na celkové bilanci solární soustavy, s rostoucím solárním pokrytím je bilance více a více ovlivněna rostoucím

podílem potřeby tepla na přípravu teplé vody s požadavkem na celoročně vysokou provozní teplotu v zásobníku a souvisejícími tepelnými ztrátami (viz obrázek 32).

Tabulka 13 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v běžném standardu

	běžný standard			
solární pokrytí [%]	25	50	75	100
plocha kolektorů [m^2]	460	1000	1620	4000
objem zásobníku [m^3]	1300	4500	8000	44000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	450	423	386	209
průměrná teplota zásobníku [℃]	37	43	50	64
podíl tepelných ztrát solární soustavy [%]	21	23	26	56

Tabulka 14 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v nízkoenergetickém standardu

	nízkoenergetický standard			
solární pokrytí [%]	25	50	75	100
plocha kolektorů [m^2]	310	650	1050	3500
objem zásobníku [m^3]	700	2600	5000	38000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	486	453	420	169
průměrná teplota zásobníku [℃]	34	40	45	66
podíl tepelných ztrát solární soustavy [%]	16	20	23	63

Tabulka 15 – Výsledky simulace solární soustavy pro sídliště s domy v pasivním standardu

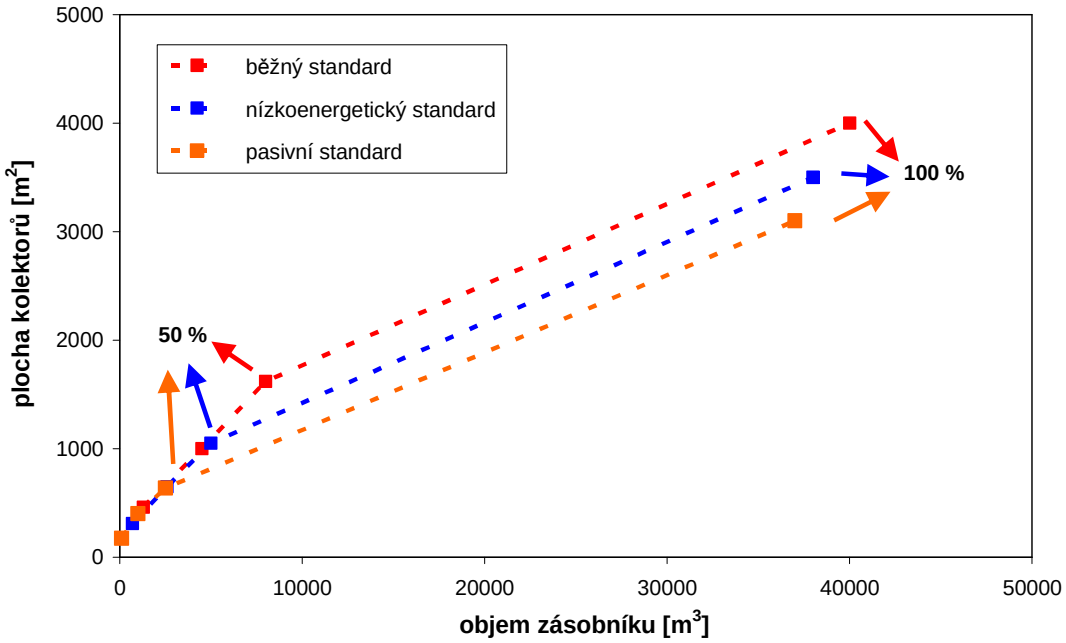
	pasivní standard			
solární pokrytí [%]	25	50	75	100
plocha kolektorů [m^2]	175	400	635	3100
objem zásobníku [m^3]	110	1000	2500	37000
měrné solární zisky [kWh/(m^2.rok)]	507	447	418	113
průměrná teplota zásobníku [℃]	31	39	43	67
podíl tepelných ztrát solární soustavy [%]	14	19	24	75

Z výsledků je, podobně jako u modelové referenční analýzy, zcela zřejmá skutečnost, že snaha o dosažení vysokého pokrytí blížícího se 100 % naráží na extrémní navýšení potřebné plochy solárních kolektorů a objemu solárního zásobníku. Nutnost přípravy teplé vody čistě solárními zisky znamená dosáhnout i v nejnepříznivějším období na jaře v zásobníku teplot nad 65 ℃, aby byl zaručen požadovaný komfort přípravy a dodávky teplé vody. Solární zásobník tak celoročně pracuje pouze v malém rozmezí teplot (65 až 85 ℃) a vykazuje velmi nízkou akumulační schopnost. To se odráží na potřebě velkých objemů solárního zásobníku bez ohledu na energetickou náročnost budov.

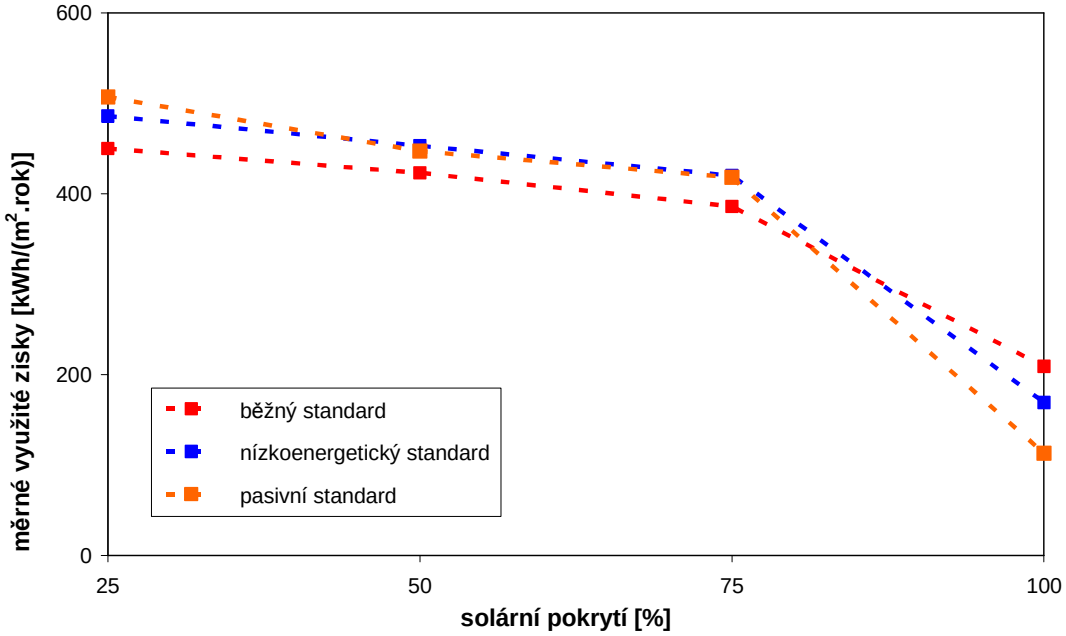
S vysokou provozní teplotou v zásobníku pak souvisí vysoký podíl tepelných ztrát, nízká roční provozní účinnost soustavy (10 až 20 % pro 100% pokrytí) a potřeba velkých ploch solárních kolektorů, přesahujících ve všech případech možnosti střech připojených domů. Návrhové parametry pro nižší solární pokrytí naopak umožňují vhodnou integraci solární soustavy do sídliště.

Kromě menšího objemu zásobníku, který lze případně zabudovat pod terén v blízkosti či v centru zástavby, se jedná především o možnost umístění kolektorového pole na střechy domů.

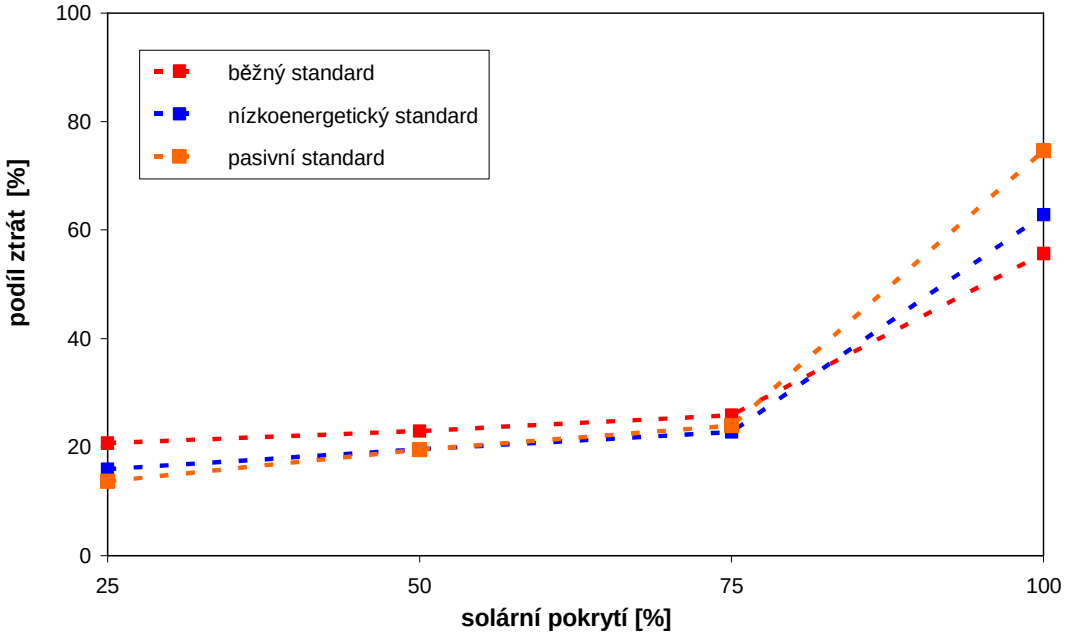
Graf 30 – Souvislost návrhových parametrů (objem zásobníku, plocha kolektorů) solární soustavy pro CZT



Graf 31 – Měrné zisky solární soustavy pro CZT v závislosti na solárním pokrytí



Graf 32 – Podíl tepelných ztrát solární soustavy pro CZT



3 ANALÝZA EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ VYBRANÝCH VARIANT

V následující kapitole je provedena základní ekonomická analýza vybraných variant jednotlivých solárních soustav v CZT. Energetické přínosy a návrhové parametry soustav vychází z provedených simulačních výpočtů. Použité investiční náklady odpovídají průměrným hodnotám, kterých je v současnosti dosahováno při výstavbě solárních soustav v CZT.

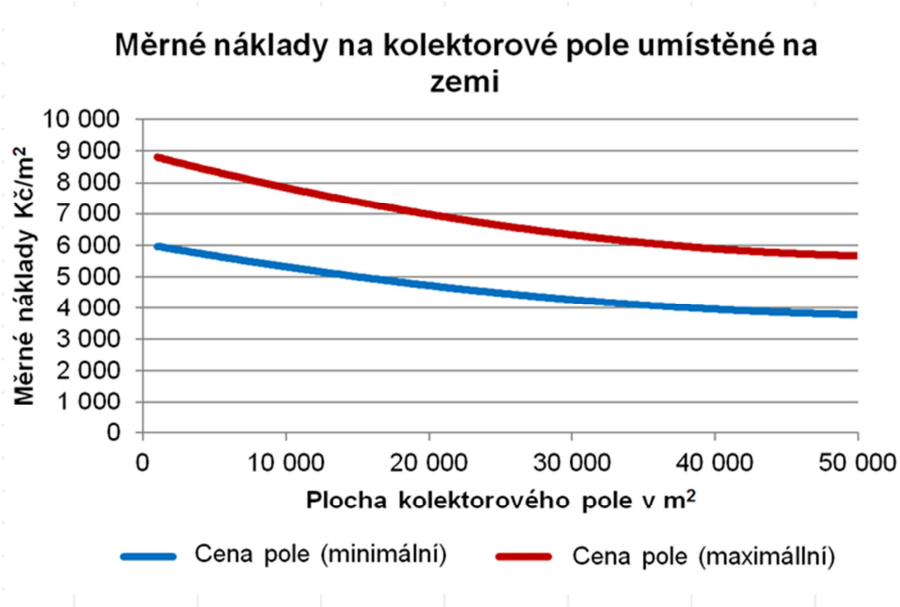
3.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY

Investiční náklady spojené s realizací solárních soustav v CZT lze určit na základě podkladů z doposud dokončených projektů. Obvykle jsou i v rámci výběrových řízení uváděny náklady na realizaci kompletního kolektorového pole včetně potrubí, výměníků tepla, čerpadel atd. Samostatně je pak řešen akumulační zásobník, jehož cena se značně liší dle použitého typu a jeho velikosti. Aby bylo hodnocení skutečně vypovídající, jsou zahrnuty i náklady na pořízení pozemku pro umístění solární soustavy, zemní práce, oplocení, připojení na stávající soustavu zásobování teplem, měření a regulaci a přípravy projektu. Tyto údaje jsou značně individuální a je nutné je v případě každého projektu jasně a co nejpřesněji specifikovat.

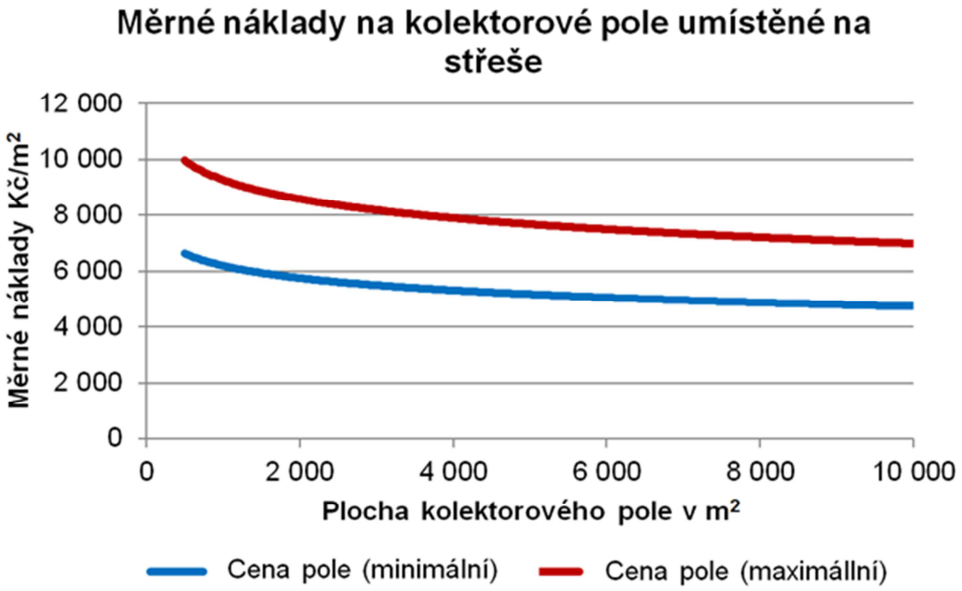
3.1.1 Náklady na kolektorové pole

Měrné náklady na kolektorové pole jsou závislé na umístění kolektorů a zejména pak na celkové instalované ploše.

Graf 33 – Měrné náklady na kolektorové pole umístěné na zemi



Graf 34 – Měrné náklady na kolektorové pole umístěné na střeše

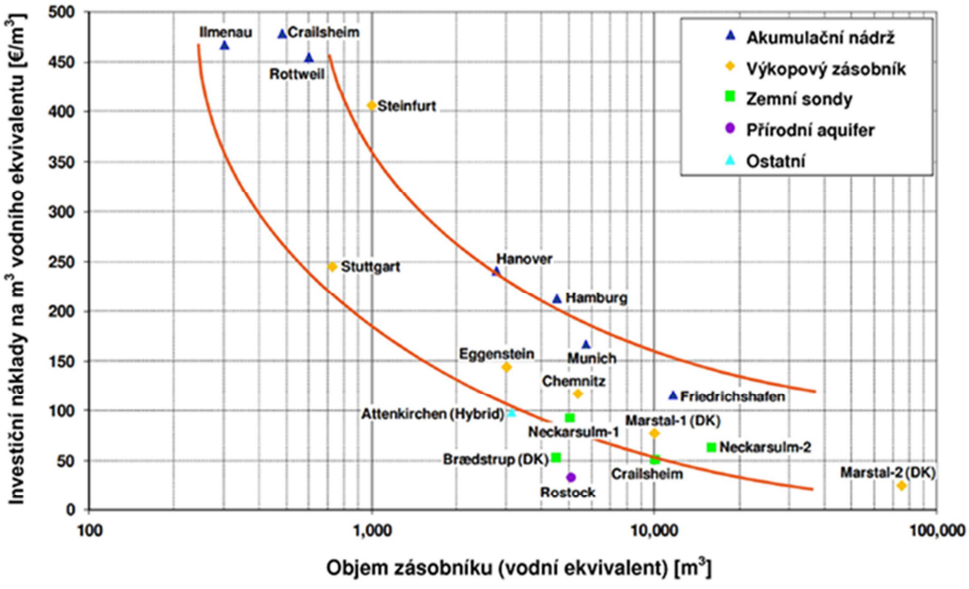


Jak zřejmé z uvedených závislostí jsou měrné náklady na kolektorové pole umístěné na střeše od určité velikosti v podstatě neměnné, zatímco v případě realizace na zemi náklady s rostoucí plochou dále klesají – v extrému až pod 4 000 Kč/m^2.

3.1.2 Náklady na zásobník

V případech kdy teplo ze solární soustavy není využíváno přímo v CZT, je nutné zahrnout do investičních nákladů i finanční prostředky spojené s výstavbou zásobníku. Měrné cena zásobníku je závislá na předpokládaném využití (denní, sezónní), tedy jeho objemu a zvoleném typu (akumulační nádrž, výkopový, zemní sondy).

Graf 35 – Měrné náklady spojené s realizací zásobníků



3.1.3 Náklady na připojení k CZT

Náklady na připojení k stávající soustavě CZT se značně liší dle místních podmínek ovlivňujících výstavbu potrubních rozvodů a také dle parametrů teplonosné látky v CZT. Měrné náklady se obvykle pohybují v rozmezí 5 000 až 15 000 Kč/m^2 a v rámci každého projektu by měli být blíže specifikovány už ve fázi studie proveditelnosti.

3.1.4 Ostatní náklady

Jak je uvedeno výše jsou další investiční položky značně ovlivněny místními podmínkami a pro výpočet je jejich specifikace provedena vždy samostatně pro jednotlivé varianty.

3.2 PROVOZNÍ NÁKLADY

Provozní náklady vychází ze zvolené strategie řízení. V současnosti je upřednostňováno provozování solární soustavy na konstantní výstupní teplotu. Jsou použita oběhová čerpadla s proměnnými otáčkami, což významně snižuje náklady na čerpací práci. Spolu s dalšími náklady na údržbu lze pak předpokládat částku v rozmezí 20 až 42 Kč/GJ vyrobeného tepla.

3.3 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV

Pro každou z variant jsou uvedeny tabulky se souhrnem vstupních parametrů a investičními náklady. Produkční cena tepla k níž je vztahován výpočet návratnosti odpovídá ceníkové ceně zemního plynu jednoho z hlavních prodejců v ČR a výši odběru. Na konci každé z podkapitol je pak uveden souhrn s daty pro jednotlivá solární pokrytí a graf znázorňujíc poměr investice k nákladům na odpovídající množství vyprodukovaného tepla (nediskontováno).

3.3.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 16 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	80	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	5	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	153	GJ/rok
Typ zásobníku	akumulační nádrž	
Objem zásobníku	4	m^3
Celkové investiční náklady	1 102 540	Kč
Provozní náklady	4 741	Kč

Tabulka 17 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**1 102 540**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	685 040	Kč
Náklady na zásobník	180 000	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	37 500	Kč
Měření a regulace	100 000	Kč
Náklady na půdu	0	Kč
Příprava projektu	100 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 18 let.

3.3.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 18 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	460	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	50	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	752	GJ/rok
Typ zásobníku	akumulační nádrž	
Objem zásobníku	1 300	m^3
Celkové investiční náklady	12 703 000	Kč
Provozní náklady	23 307	Kč

Tabulka 19 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**12 703 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	3 565 000	Kč
Náklady na zásobník	8 125 000	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	375 000	Kč
Měření a regulace	300 000	Kč
Náklady na půdu	138 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 40 let.

3.3.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 20 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	1 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 526	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	4 500	m^3
Celkové investiční náklady	23 287 500	Kč
Provozní náklady	47 318	Kč

Tabulka 21 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**23 287 500**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	7 375 000	Kč
Náklady na zásobník	14 062 500	Kč
Zemní práce a oplocení	200 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	400 000	Kč
Náklady na půdu	300 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 38 let.

3.3.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 22 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	1 625	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	2 264	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	8 000	m^3
Celkové investiční náklady	36 183 625	Kč
Provozní náklady	70 182	Kč

Tabulka 23 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**36 183 625**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	11 071 125	Kč
Náklady na zásobník	23 000 000	Kč
Zemní práce a oplocení	325 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	350 000	Kč
Náklady na půdu	487 500	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 40 let.

3.3.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 24 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	4 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	3 010	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	44 000	m^3
Celkové investiční náklady	111 875 000	Kč
Provozní náklady	93 298	Kč

Tabulka 25 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**111 875 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	25 500 000	Kč
Náklady na zásobník	82 500 000	Kč
Zemní práce a oplocení	800 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	500 000	Kč
Náklady na půdu	1 200 000	Kč
Příprava projektu	250 000	Kč

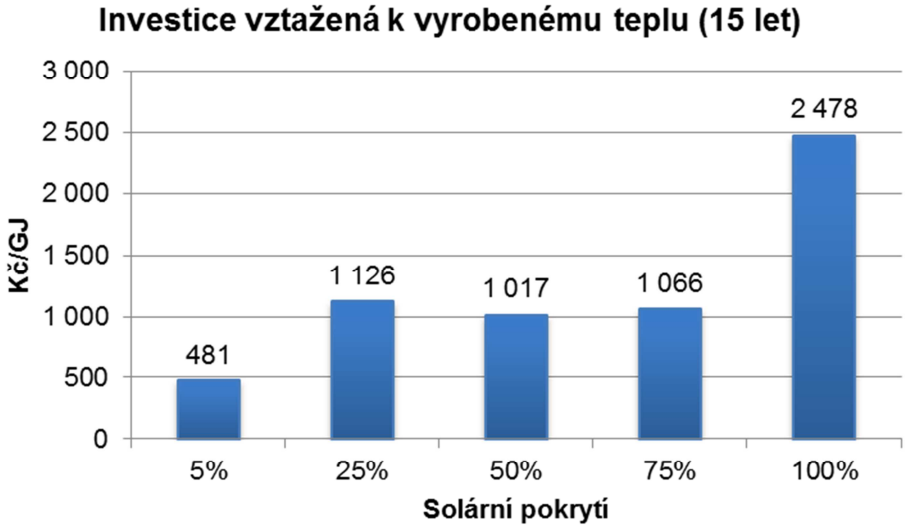
Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 94 let.

3.3.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem

Tabulka 26 – Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem

Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem	Plocha kolektorů	Objem zásobníku	Dodaná energie	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostá návratnost	Reálná návratnost
	m^2	m^3	GJ	Kč	Kč	let	let
Solární pokrytí 5 %	80	4	153	1 102 540	4 741	18	>15
Solární pokrytí 25 %	460	1 300	752	12 703 000	23 307	40	>15
Solární pokrytí 50 %	1 000	4 500	1 526	23 287 500	47 318	38	>15
Solární pokrytí 75 %	1 625	8 000	2 264	36 183 625	70 182	40	>15
Solární pokrytí 100 %	4 000	44 000	3 010	111 875 000	93 298	94	>15

Graf 36 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let)



3.4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – ZEMNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV

3.4.1 Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 27 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	80	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	5	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	153	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	bez zásobníku	
Objem sezónního zásobníku	0	m^2
Objem nárazového zásobníku	4	m^3
Celkové investiční náklady	1 102 540	Kč
Provozní náklady	4 741	Kč

Tabulka 28 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**1 102 540**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	685 040	Kč
Náklady na zásobník	180 000	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	37 500	Kč
Měření a regulace	100 000	Kč
Náklady na půdu	0	Kč
Příprava projektu	100 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 18 let.

3.4.2 Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 29 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	560	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	50	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	760	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	6 546	m^2
Objem nárazového zásobníku	28	m^3
Celkové investiční náklady	8 285 500	Kč
Provozní náklady	23 561	Kč

Tabulka 30 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**8 285 500**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	4 340 000	Kč
Náklady na zásobník	2 902 500	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	375 000	Kč
Měření a regulace	300 000	Kč
Náklady na půdu	168 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 27 let.

3.4.3 Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 31 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	1 340	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 505	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	12 274	m^2
Objem nárazového zásobníku	67	m^3
Celkové investiční náklady	17 435 417	Kč
Provozní náklady	46 658	Kč

Tabulka 32 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**17 435 417**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	9 882 500	Kč
Náklady na zásobník	5 532 917	Kč
Zemní práce a oplocení	268 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	400 000	Kč
Náklady na půdu	402 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 29 let.

3.4.4 Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 33 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	2 650	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	2 271	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	18 984	m^2
Objem nárazového zásobníku	132	m^3
Celkové investiční náklady	29 117 450	Kč
Provozní náklady	70 386	Kč

Tabulka 34 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**29 117 450**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	18 054 450	Kč
Náklady na zásobník	8 438 000	Kč
Zemní práce a oplocení	530 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	350 000	Kč
Náklady na půdu	795 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 32 let.

3.4.5 Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 35 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	15 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	3 006	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	3 024	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	70 138	m^2
Objem nárazového zásobníku	750	m^3
Celkové investiční náklady	133 176 750	Kč
Provozní náklady	93 744	Kč

Tabulka 36 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**133 176 750**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	95 625 000	Kč
Náklady na zásobník	28 176 750	Kč
Zemní práce a oplocení	3 000 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	500 000	Kč
Náklady na půdu	4 500 000	Kč
Příprava projektu	250 000	Kč

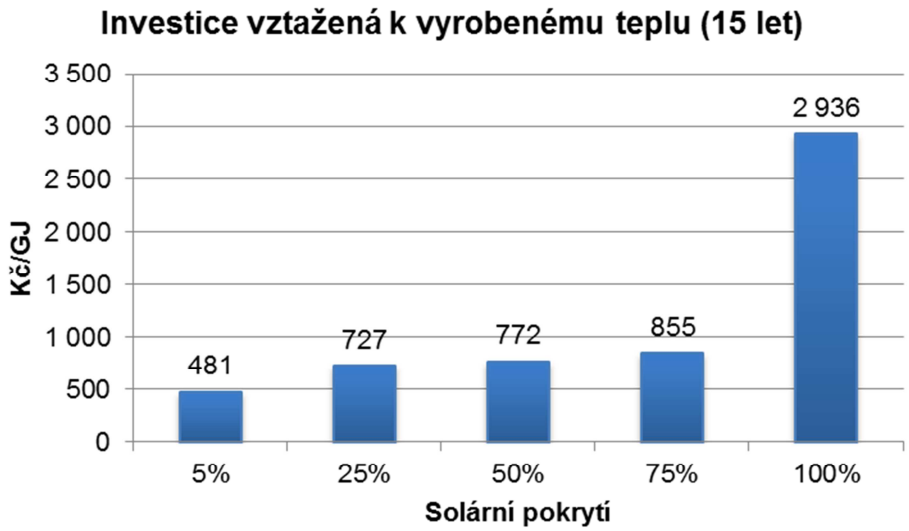
Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 112 let.

3.4.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem

Tabulka 37 – Souhrn – Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem

Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem	Plocha kolektorů	Objem sezónního zásobníku	Dodaná energie	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostá návratnost	Reálná návratnost
	m^2	m^3	GJ	Kč	Kč	rok	rok
Solární pokrytí 5 %	80	0	153	1 102 540	4 741	18	>15
Solární pokrytí 25 %	560	6 546	760	8 285 500	23 561	27	>15
Solární pokrytí 50 %	1 340	12 274	1 505	17 435 417	46 658	29	>15
Solární pokrytí 75 %	2 650	18 984	2 271	29 117 450	70 386	32	>15
Solární pokrytí 100 %	15 000	70 138	3 024	133 176 750	93 744	112	>15

Graf 37 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let)



3.5 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ

3.5.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 38 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Plocha kolektorů	84	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	0	m
Celkové množství tepla v CZT	2 587	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	123	GJ/rok
Typ zásobníku	akumulační nádrž	
Objem zásobníku	310	m^3
Celkové investiční náklady	2 856 792	Kč
Provozní náklady	3 825	Kč

Tabulka 39 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**2 856 792**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	719 292	Kč
Náklady na zásobník	1 937 500	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	0	Kč
Měření a regulace	100 000	Kč
Náklady na půdu	0	Kč
Příprava projektu	100 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 58 let.

3.5.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 40 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Plocha kolektorů	410	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	50	m
Celkové množství tepla v CZT	2 587	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	617	GJ/rok
Typ zásobníku	akumulační nádrž	
Objem zásobníku	1 600	m^3
Celkové investiční náklady	14 508 830	Kč
Provozní náklady	19 126	Kč

Tabulka 41 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**14 508 830**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	3 510 830	Kč
Náklady na zásobník	10 000 000	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	375 000	Kč
Měření a regulace	300 000	Kč
Náklady na půdu	123 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 55 let.

3.5.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 42 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Plocha kolektorů	850	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	2 587	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 224	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	4 250	m^3
Celkové investiční náklady	21 325 000	Kč
Provozní náklady	37 944	Kč

Tabulka 43 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**21 325 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	6 268 750	Kč
Náklady na zásobník	13 281 250	Kč
Zemní práce a oplocení	170 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	400 000	Kč
Náklady na půdu	255 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 44 let.

3.5.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 44 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Plocha kolektorů	1 340	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	2 587	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 833	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	8 375	m^3
Celkové investiční náklady	35 177 545	Kč
Provozní náklady	56 827	Kč

Tabulka 45 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**35 177 545**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	9 129 420	Kč
Náklady na zásobník	24 078 125	Kč
Zemní práce a oplocení	268 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	350 000	Kč
Náklady na půdu	402 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 48 let.

3.5.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 46 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Plocha kolektorů	2 500	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	2 587	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	2 448	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	23 000	m^3
Celkové investiční náklady	62 187 500	Kč
Provozní náklady	75 888	Kč

Tabulka 47 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**62 187 500**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	15 937 500	Kč
Náklady na zásobník	43 125 000	Kč
Zemní práce a oplocení	500 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	500 000	Kč
Náklady na půdu	750 000	Kč
Příprava projektu	250 000	Kč

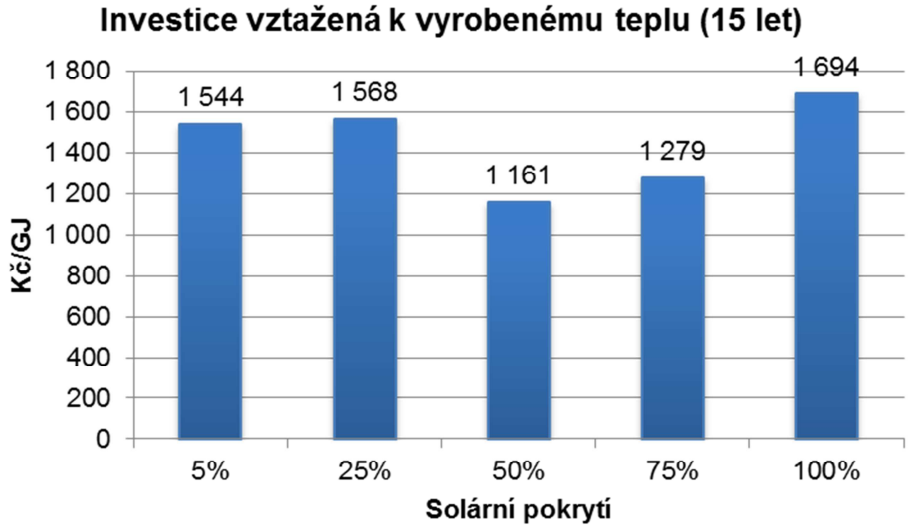
Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 60 let.

3.5.6 Souhrn – Vytápění s vodním zásobníkem

Tabulka 48 – Souhrn – Vytápění s vodním zásobníkem

Vytápění s vodním zásobníkem	Plocha kolektorů	Objem zásobníku	Dodaná energie	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostá návratnost	Reálná návratnost
	m^2	m^3	GJ	Kč	Kč	rok	rok
Solární pokrytí 5 %	84	310	123	2 856 792	3 825	58	>15
Solární pokrytí 25 %	410	1 600	617	14 508 830	19 126	55	>15
Solární pokrytí 50 %	850	4 250	1 224	21 325 000	37 944	44	>15
Solární pokrytí 75 %	1 340	8 375	1 833	35 177 545	56 827	48	>15
Solární pokrytí 100 %	2 500	23 000	2 448	62 187 500	75 888	60	>15

Graf 38 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let)



3.6 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – ZEMNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ

3.6.1 Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 49 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Plocha kolektorů	105	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	5	m
Celkové množství tepla v CZT	2 441	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	123	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	779	m^2
Objem nárazového zásobníku	5	m^3
Celkové investiční náklady	1 699 698	Kč
Provozní náklady	3 808	Kč

Tabulka 50 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**1 699 698**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	899 115	Kč
Náklady na zásobník	563 083	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	37 500	Kč
Měření a regulace	100 000	Kč
Náklady na půdu	0	Kč
Příprava projektu	100 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 35 let.

3.6.2 Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 51 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Plocha kolektorů	550	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	50	m
Celkové množství tepla v CZT	2 441	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	622	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	6 546	m^2
Objem nárazového zásobníku	28	m^3
Celkové investiční náklady	8 511 250	Kč
Provozní náklady	19 273	Kč

Tabulka 52 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**8 511 250**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	4 262 500	Kč
Náklady na zásobník	3 208 750	Kč
Zemní práce a oplocení	0	Kč
Náklady na připojení k CZT	375 000	Kč
Měření a regulace	300 000	Kč
Náklady na půdu	165 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 35 let.

3.6.3 Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 53 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Plocha kolektorů	1 280	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	2 441	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 235	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	9 679	m^2
Objem nárazového zásobníku	64	m^3
Celkové investiční náklady	16 262 917	Kč
Provozní náklady	38 283	Kč

Tabulka 54 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**16 262 917**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	9 440 000	Kč
Náklady na zásobník	4 832 917	Kč
Zemní práce a oplocení	256 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	400 000	Kč
Náklady na půdu	384 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 33 let.

3.6.4 Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 55 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Plocha kolektorů	2 500	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	2 441	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 836	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	15 360	m^2
Objem nárazového zásobníku	125	m^3
Celkové investiční náklady	27 388 750	Kč
Provozní náklady	56 916	Kč

Tabulka 56 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**27 388 750**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	17 032 500	Kč
Náklady na zásobník	7 806 250	Kč
Zemní práce a oplocení	500 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	350 000	Kč
Náklady na půdu	750 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 38 let. Pro dosažení prosté návratnosti 15 let by musela být produkční cena tepla Kč/GJ.

3.6.5 Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 57 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Plocha kolektorů	8 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	2 441	GJ/rok
Produkční cena tepla	428	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	2 448	GJ/rok
Typ sezónního zásobníku	zemní sondy	
Objem sezónního zásobníku	49 876	m^2
Objem nárazového zásobníku	400	m^3
Celkové investiční náklady	79 778 500	Kč
Provozní náklady	75 888	Kč

Tabulka 58 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (zemní – ÚT)

Celkové investiční náklady	**79 778 500**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	51 000 000	Kč
Náklady na zásobník	22 903 500	Kč
Zemní práce a oplocení	1 600 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	500 000	Kč
Náklady na půdu	2 400 000	Kč
Příprava projektu	250 000	Kč

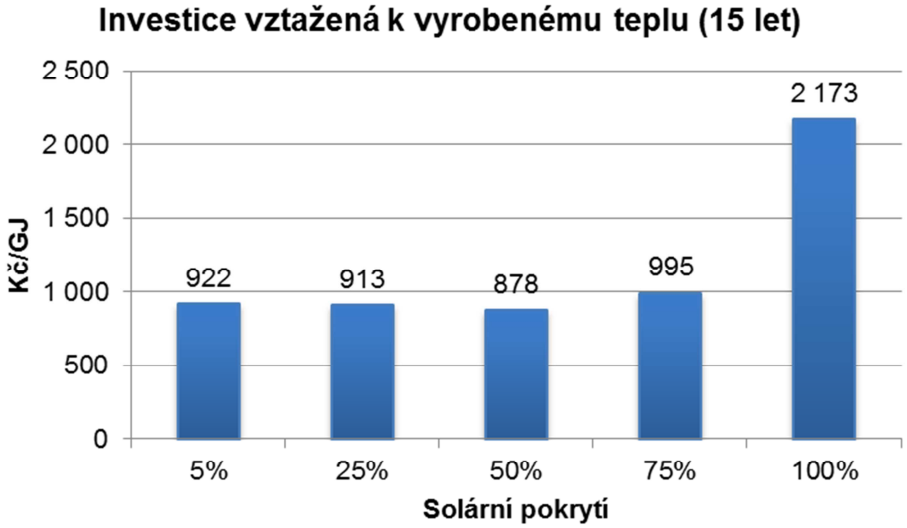
Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 83 let.

3.6.6 Souhrn – Vytápění se zemním zásobníkem

Tabulka 59 – Souhrn – Vytápění se zemním zásobníkem

Vytápění a příprava TV se zemním zásobníkem	Plocha kolektorů	Objem sezónního zásobníku	Dodaná energie	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostá návratnost	Reálná návratnost
	m^2	m^3	GJ	Kč	Kč	rok	rok
Solární pokrytí 5 %	105	779	123	1 699 698	3 808	35	>15
Solární pokrytí 25 %	550	6 546	622	8 511 250	19 273	35	>15
Solární pokrytí 50 %	1 280	9 679	1 235	16 262 917	38 283	33	>15
Solární pokrytí 75 %	2 500	15 360	1 836	27 388 750	56 916	38	>15
Solární pokrytí 100 %	8 000	49 876	2 448	79 778 500	75 888	82	>15

Graf 39 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let)



3.7 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ VARIANTY – VELKÁ SOUSTAVA CZT (FAKTOR 10) – VODNÍ ZÁSOBNÍK – VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVA TV

3.7.1 Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 60 – Shrnutí vstupních parametrů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	800	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	50	m
Celkové množství tepla v CZT	30 060	GJ/rok
Produkční cena tepla	418	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	1 619	GJ/rok
Typ zásobníku	akumulační nádrž	
Objem zásobníku	40	m^3
Celkové investiční náklady	7 775 000	Kč
Provozní náklady	50 175	Kč

Tabulka 61 – Shrnutí investičních nákladů – 5% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**7 775 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	6 200 000	Kč
Náklady na zásobník	600 000	Kč
Zemní práce a oplocení	160 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	375 000	Kč
Měření a regulace	100 000	Kč
Náklady na půdu	240 000	Kč
Příprava projektu	100 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 12 let.

3.7.2 Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 62 – Shrnutí vstupních parametrů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	4 600	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	100	m
Celkové množství tepla v CZT	30 060	GJ/rok
Produkční cena tepla	418	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	8 263	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	13 000	m^3
Celkové investiční náklady	58 500 000	Kč
Provozní náklady	256 167	Kč

Tabulka 63 – Shrnutí investičních nákladů – 25% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**58 500 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	32 200 000	Kč
Náklady na zásobník	22 750 000	Kč
Zemní práce a oplocení	920 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	750 000	Kč
Měření a regulace	300 000	Kč
Náklady na půdu	1 380 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 17 let.

3.7.3 Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 64 – Shrnutí vstupních parametrů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	10 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	30 060	GJ/rok
Produkční cena tepla	418	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	15 552	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	45 000	m^3
Celkové investiční náklady	129 225 000	Kč
Provozní náklady	482 112	Kč

Tabulka 65 – Shrnutí investičních nákladů – 50% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**129 225 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	66 250 000	Kč
Náklady na zásobník	56 250 000	Kč
Zemní práce a oplocení	2 000 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	400 000	Kč
Náklady na půdu	3 000 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 21 let.

3.7.4 Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 66 – Shrnutí vstupních parametrů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	16 250	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	200	m
Celkové množství tepla v CZT	30 060	GJ/rok
Produkční cena tepla	418	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	23 985	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	80 000	m^3
Celkové investiční náklady	197 675 000	Kč
Provozní náklady	743 535	Kč

Tabulka 67 – Shrnutí investičních nákladů – 75% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**197 675 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	97 500 000	Kč
Náklady na zásobník	90 000 000	Kč
Zemní práce a oplocení	3 250 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 500 000	Kč
Měření a regulace	350 000	Kč
Náklady na půdu	4 875 000	Kč
Příprava projektu	200 000	Kč

Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 21 let.

3.7.5 Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Shrnutí vstupních parametrů je provedeno v tabulce.

Tabulka 68 – Shrnutí vstupních parametrů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Plocha kolektorů	40 000	m^2
Vzdálenost připojení k CZT	150	m
Celkové množství tepla v CZT	30 060	GJ/rok
Produkční cena tepla	418	Kč/GJ
Teplo dodané solární soustavou	29 952	GJ/rok
Typ zásobníku	výkopový	
Objem zásobníku	440 000	m^3
Celkové investiční náklady	661 875 000	Kč
Provozní náklady	928 512	Kč

Tabulka 69 – Shrnutí investičních nákladů – 100% solární pokrytí (vodní – ÚT + TV)

Celkové investiční náklady	**661 875 000**	**Kč**
Náklady na solární soustavu	200 000 000	Kč
Náklady na zásobník	440 000 000	Kč
Zemní práce a oplocení	8 000 000	Kč
Náklady na připojení k CZT	1 125 000	Kč
Měření a regulace	500 000	Kč
Náklady na půdu	12 000 000	Kč
Příprava projektu	250 000	Kč

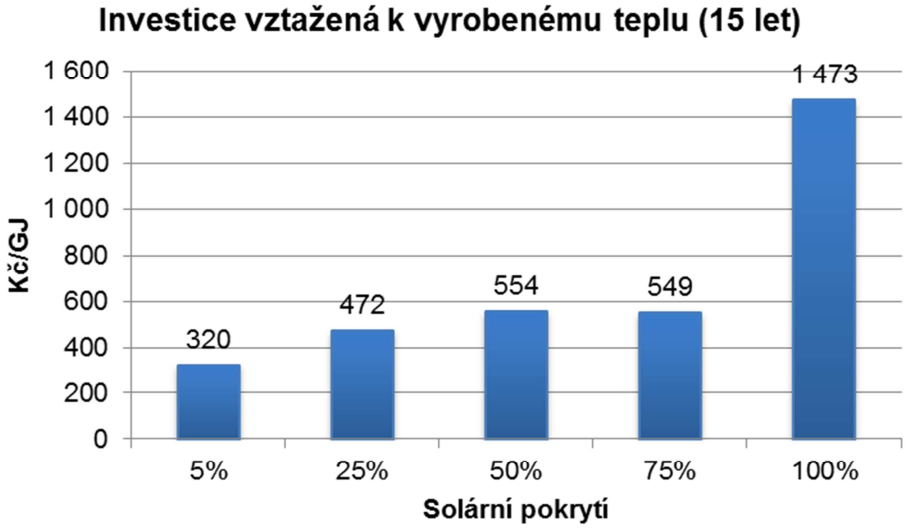
Doba ekonomického hodnocení projektu je 15 let. Prostá návratnost solární soustavy v uvedené konfiguraci je 57 let.

3.7.6 Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem

Tabulka 70 – Souhrn – Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem

Vytápění a příprava TV s vodním zásobníkem	Plocha kolektorů	Objem zásobníku	Dodaná energie	Investiční náklady	Provozní náklady	Prostá návratnost	Reálná návratnost
	m^2	m^3	GJ	Kč	Kč	let	let
Solární pokrytí 5 %	800	40	1 619	7 775 000	50 175	12	>15
Solární pokrytí 25 %	4 600	13 000	8 263	58 500 000	256 167	17	>15
Solární pokrytí 50 %	10 000	45 000	15 552	129 225 000	482 112	21	>15
Solární pokrytí 75 %	16 250	80 000	23 985	197 675 000	743 535	21	>15
Solární pokrytí 100 %	40 000	440 000	29 952	661 875 000	928 512	57	>15

Graf 40 – Investice vztažená k teplu vyrobenému ve sledovaném období (15 let)



4 ZOBECNĚNÍ ZÁVĚRŮ

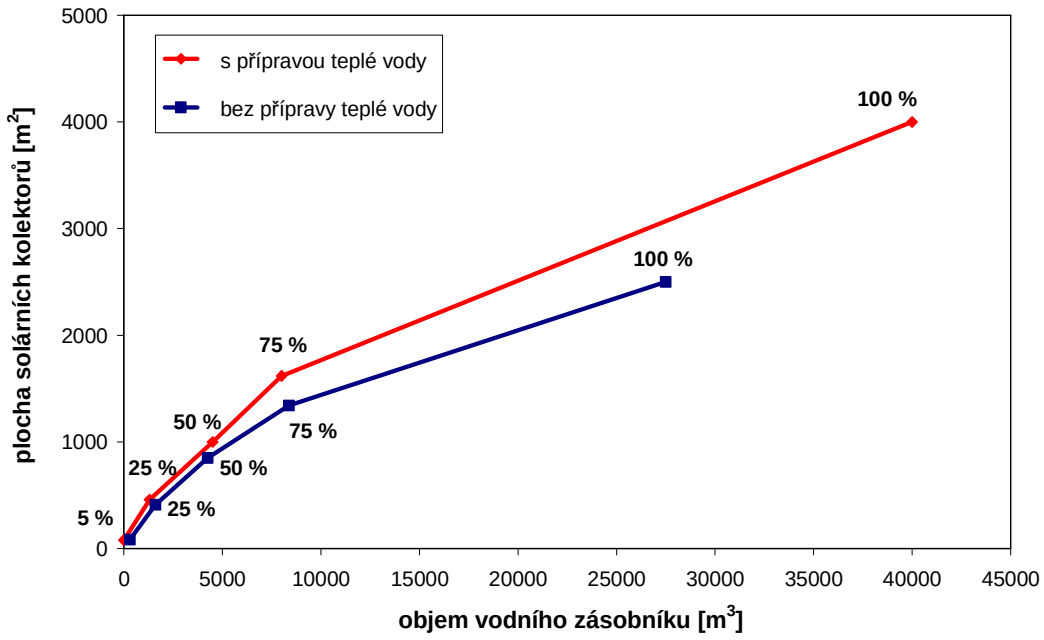
4.1 ENERGETICKÁ ANALÝZA

Energetická analýza solárních soustav pro CZT byla provedena v simulačním prostředí TRNSYS pro modelovou soustavu CZT menšího rozsahu ve variantě:

- vytápění a příprava teplé vody s vodním zásobníkem;
- vytápění a příprava teplé vody se zemním zásobníkem;
- vytápění s vodním zásobníkem;
- vytápění se zemním zásobníkem.

Návrhové parametry (plocha kolektorů, objem akumulace) a provozní parametry (měrné zisky, účinnost akumulace, účinnost celé soustavy) se u uvedených soustav pro dané solární pokrytí liší. Porovnání návrhových parametrů soustavy vytápění s přípravou teplé vody a bez přípravy teplé vody je pro variantu s vodním zásobníkem uvedeno v grafu 41 a pro variantu se zemním zásobníkem v grafu 42.

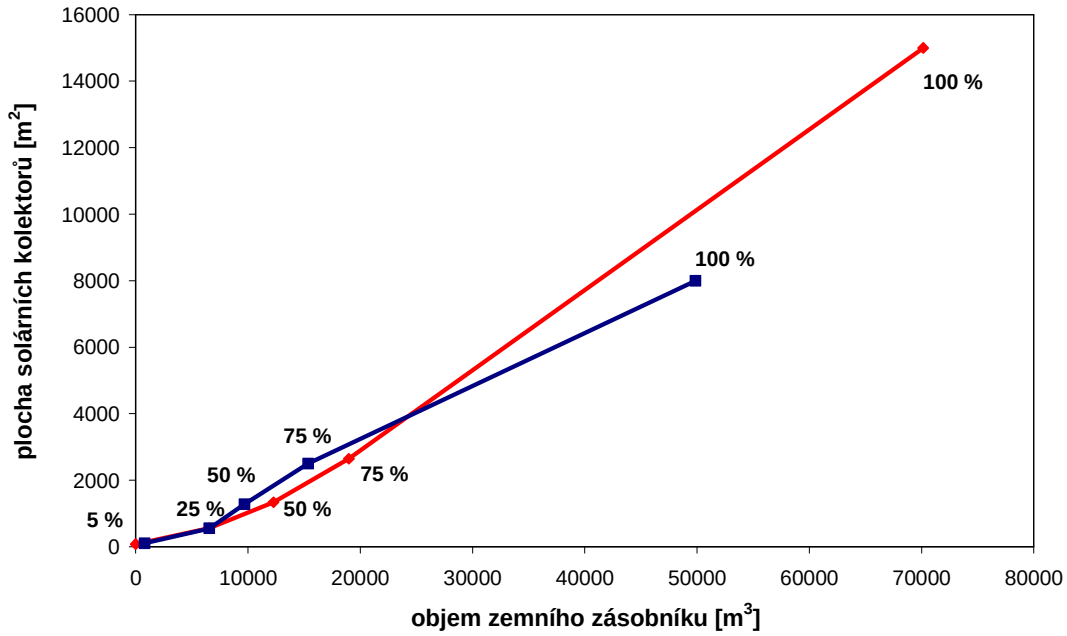
Graf 41 – Porovnání návrhových parametrů solární soustavy s vodním zásobníkem pro variantu vytápění s přípravou TV a bez přípravy TV



Nejednotnost trendu zobrazená v grafu 42 je zapříčiněna způsobem získávání údajů, kdy pro konkrétní hodnotu solárního pokrytí je možné zjistit několik variant kombinací návrhových parametrů splňujících podmínku solárního pokrytí a dále pouze možnost skokové změny počtu

vrtů. Počet vrtů definuje objem zásobníku a tedy i přesnost dosažení požadovaného solárního podílu.

Graf 42 – Porovnání návrhových parametrů solární soustavy se zemním zásobníkem pro variantu vytápění s přípravou TV a bez přípravy TV

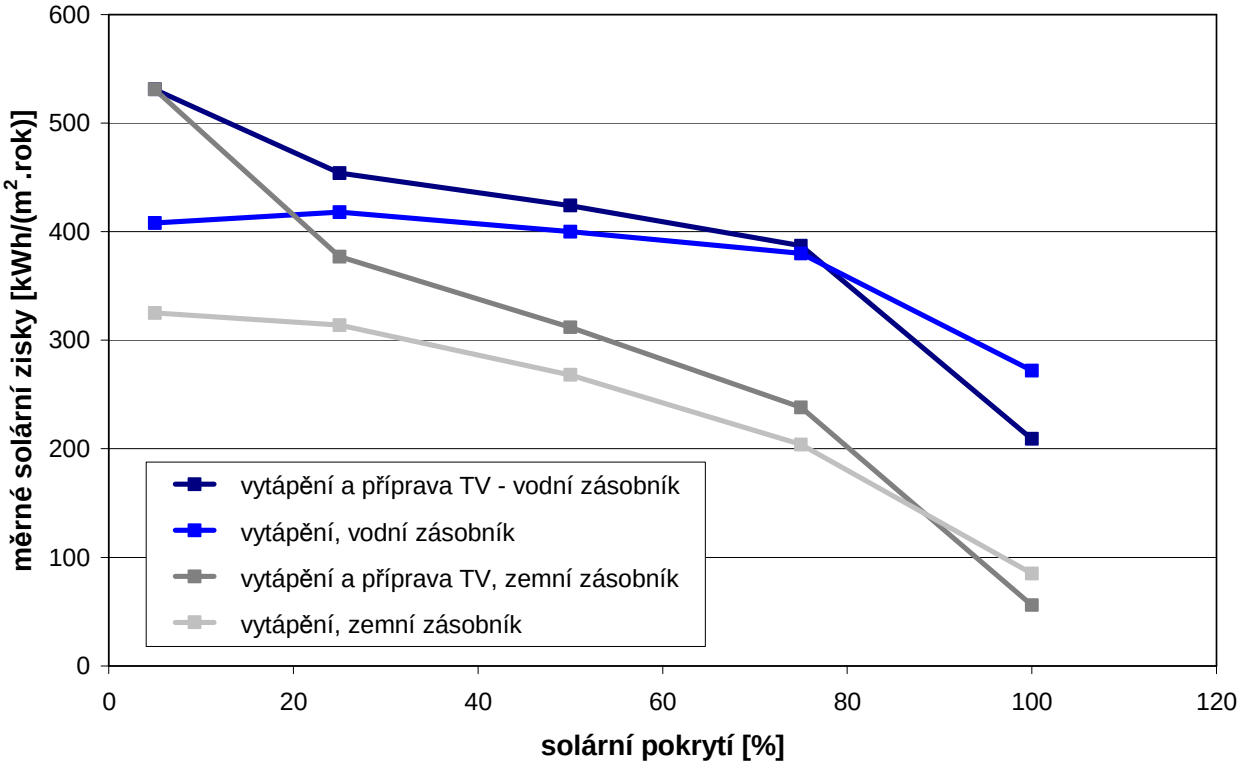


Porovnání měrných zisků jednotlivých simulovaných variant je uvedeno v grafu 43. Měrné zisky slouží jako ukazatel účinnosti solární soustavy a kritérium požadované kvality. Je patrné, že **solární soustavy se zemním zásobníkem jsou méně účinné než soustavy s vodním zásobníkem**. To je způsobeno účinností akumulace, která je v případě zemních zásobníků téměř na poloviční hodnotě. Vysoké zisky u varianty se zemním zásobníkem při nízkém solárním pokrytí (5 %) jsou díky absenci zemního zásobníku (pouze nárazový vodní zásobník). Měrné zisky u solárních soustav s vodním zásobníkem se pro pokrytí do 50 % pohybují nad úrovní **400 kWh/(m^2.rok)**, při velmi nízkém pokrytí překračují i hodnotu 500 kWh/(m^2.rok).

Solární soustavy pouze pro vytápění dosahují nižších zisků než solární soustavy pro vytápění a přípravu teplé vody, což je známé a logické. V letním období je v soustavách pro vytápění nutné solární zisky akumulovat do sezónního zásobníku pro pozdější využití v podzimním období a zimním období i při nízkých solárních pokrytích. **V případě soustav se 100% pokrytím to však neplatí**, zde se u kombinovaných soustav negativně projevuje potřeba ohřevu teplé vody na vysokou teplotu i v nejnepříznivějším období v roce (jaro) z akumulačního zásobníku

Snaha o dosažení vysokých solárních pokrytí zvláště nad 75 % **vede k neúčinným solárním soustavám** s vysokým podílem tepelných ztrát, s vysokou potřebou plochy solárních kolektorů a objemu akumulačního zásobníku. Účinnost solárních soustav se 100% pokrytím s vodním zásobníkem je na úrovni **20 až 25 %** (soustavy pro vytápění bez TV dosahují vyšších hodnot), se zemním zásobníkem je na úrovni **5 až 8 %**.

Graf 43 – Porovnání provozních parametrů jednotlivých variant soustav



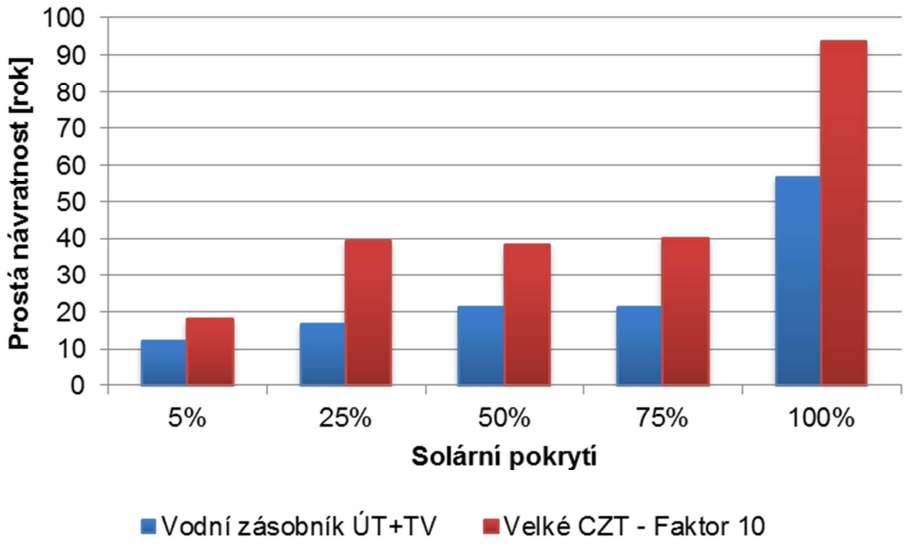
V případě velkých soustav CZT lze uvažovat výsledky analýzy provedené pro CZT malého rozsahu. Měrné zisky jsou pro 10 x větší soustavu CZT (potřeby tepla násobené faktorem 10) při uvažování 10 x větších návrhových parametrů (plocha kolektorů, objem zásobníku) vyšší o cca 6 až 10 %.

Energetická náročnost budov ovlivňuje zejména návrhové parametry solární soustavy – absolutní velikost solární soustavy. V případě sídliště pasivních rodinných domů lze využít vhodně orientovanou střechu i pro plochu solárních kolektorů adekvátní vysokému solárnímu pokrytí bez potřeby využívat pozemek. Měrné zisky solární soustavy jsou při nízkých solárních pokrytích do 50 % zhruba srovnatelné pro všechny kategorie energetické náročnosti. Výsledky pro pasivní dům jsou lepší cca do 10 %. Pro vysoké solární pokrytí (100 %) se poměr obrací. Významný podíl potřeby přípravy teplé vody u pasivních domů (45 %) zvyšuje neúměrně nároky na teploty v zásobníku. To má za následek **nižší měrné zisky a účinnost soustavy pro pasivní domy oproti nízkoenergetickým a běžným**.

Na základě ekonomické analýzy popsaných technických variant lze konstatovat, že v případě vybraného modelového sídliště je při současných tržních podmínkách implementace solární soustavy s dlouhodobou akumulací nevhodná. **Potenciál pro využití solárních soustav v CZT lze spatřovat v projektech s nízkým podílem solárního tepla, jak naznačují výsledky pro 5% pokrytí.**

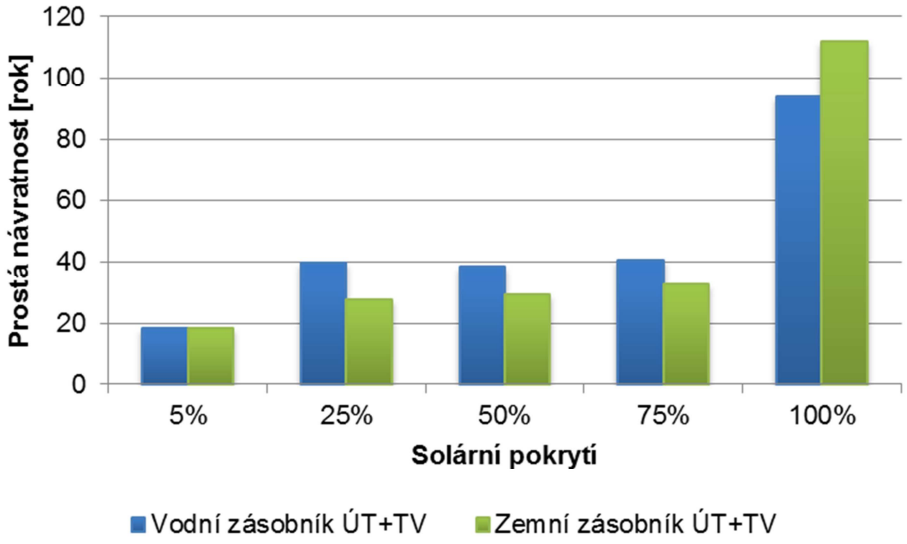
Analýza „velké soustavy CZT (faktor 10)“ vykazuje lepší ekonomické parametry zejména díky nižším měrným investičním nákladům, které lze v tomto případě předpokládat. Vliv mají také o cca 6 % vyšší zisky odpovídající, větší solární soustavy.

Graf 44 – Porovnání návratností Malá/Velká soustava s vodním zásobníkem pro ÚT a TV



Z hlediska sezónní akumulace tepla se jako ekonomicky vhodnější jeví využití zemních vrtů oproti výkopovým vodním zásobníkům.

Graf 45 – Porovnání návratností soustav s vodním a zemním zásobníkem pro ÚT a TV



Ekonomické hodnocení je provedeno na základě průměrných cen z již realizovaných soustav pro CZT v Evropě. Dále je třeba zdůraznit, že hodnocení bylo provedeno bez cenové progrese tepla vyráběného ve výtopně na zemní plyn.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že jako nejvhodnější se v současnosti jeví využití solárních soustav s nízkým pokrytím tepla ve větších CZT, kdy lze dosáhnout vyšších měrných zisků soustavy při nižších měrných nákladech na její realizaci.

5 LITERATURA

[1] *Borovský, D., Matuška, T.: Možnosti využití sluneční energie v systémech CZT, Sborník konference Vytápění Třeboň 2011, str. 135-142. Společnost pro techniku prostředí 2011.*

[2] *Dalenbäck, J. O.: Succes Factors in Solar District Heating – Micro Analyses Report, SDH takeoff project, 2010.*

[3] *Schmidt, T., Mangold, D., Muller-Steinhagen, H.: Central solar heating plants with seasonal storage in Germany. Solar Energy 76(1–3), str. 165–174, Elsevier, 2004.*

[4] *Pauschinger, T.: Current developments and prospects of solar district heating in Europe, ESTEC 2011, Marseille.*

[5] *Schmidt, T.: Solar district heating with seasonal storage in Germany, International SDH Workshop, Prague, 2010.*

[6] *Drake Landing Solar Community, http://www.dlsc.ca/*

[7] *Raab, S., Mangold, D., Heidemann, W., Müller-Steinhagen, H.: Solar assisted district heating system in Crailsheim (Germany), Sborník z konference Solar World Congress, Orlando (USA), 2005.*

[8] *Holm, L.: Solar plants together with district heating in Denmark, International SDH Workshop, Prague, 2010.*

[9] *Raab, S., Mangold, D., Heidemann, W., Müller-Steinhagen, H.: Solar assisted district heating system with seasonal hot water store in Friedrichshafen (Germany), Sborník z konference Eurosun, Freiburg (Německo), 2004.*

[10] *Pfeil, M., Koch, H.: High perfromance low cost seasonal gravel/water storage pit, Solar Energy 69/6, str. 461-467, Elsevier Science, Ltd. 2000.*

[11] *Mangold, D., Riegger, M., SCHMIDT, T.: Solare nahwärme und Langzeit-wärme-speicher. München 2007. 123 s*

[12] *Marstal District heating: http://www.solarge.org/index.php?id=1235&no_cache=1*

[13] *http://www.solvarmedata.dk/*

[14] *Schmidt, T., Nubbicker, J., Raab, S.: Monitoring results from German central solar heating plants with seasonal storage. Solar World Congress, Orlando, Florida USA. 2005. 6 s.*

[15] *Matuška, T., Hubka, J., Borovský, D.: Analýza solární soustavy pro centralizované zásobování teplem, Větrání, vytápění, instalace, ročník 2012, č. 2, str. 60-63, Společnost pro techniku prostředí.*

[16] *TRNSYS Studio 16, University of Madison, 2010, dostupné z http://sel.me.wisc.edu/trnsys*

6 PŘÍLOHY

6.1 SEZNAM SOLÁRNÍCH SOUSTAV S JMENOVITÝM VÝKONEM NAD 700 kW_t

Soustava	V provozu od	Majitel	Místo	Plocha apertury v m^2	Výkon v kW_t	Typ kolektorů	Typ zásobníku
Marstal	1996	Marstal Fjernvarme, DK	Marstal Denmark	18 300	12 810	PZK	WTES
Ringkøbing	2010	Ringkøbing Fjernvarme, DK	Ringkøbing Denmark	15 000	10 500	PZK	
Gram	2009	Gram Fjernvarme, DK	Gram Denmark	10 073	7 051	PZK	
Jægerspris	2010	Jægerspris Fjernvarme, DK	Jægerspris Denmark	10 000	7 000	PZK	
Oksbøl	2010	Oksbøl Varmeværk, DK	Oksbøl Denmark	10 000	7 000	PZK	
Kungälv	2000	Kungälv Energi AB, SE	Kungälv Sweden	10 000	7 000	PZK	
Broager	2009	Broager Fjernvarme, DK	Broager Denmark	9 988	6 992	PZK	
Braedstrup	2007	Braedstrup Fjernvarme, DK	Braedstrup Denmark	8 012	5 608	PZK	
Strandby	2008	Strandby Varmevaerk, DK	Strandby Denmark	8 012	5 608	PZK	
Nykvarn	1984	Telge Energi AB, SE	Nykvrn Sweden	7 500	5 250	PZK	
Crailsheim	2003	Stadtwerke Crailsheim, DE	Crailsheim Germany	7 300	5 110	PZK	BTES
Tørring	2009	Törring Kraftvarmevaerk, DK	Tørring	7 284	5 099	PZK	

			Denmark				
Almere	2010	NUON, NL	Almere Netherlands	7 000	4 900	PZK	
Soenderborg / Vollerup	2008	Soenderborg Fjernvarme, DK	Soenderborg / Vollerup Denmark	5 866	4 106	PZK	
Neckarsulm	1997	Stadtwerke Neckarsulm, DE	Neckarsulm Germany	5 670	3 969	PZK	
Falkenberg	1989	Falkenberg Energi AB, SE	Falkenberg Sweden	5 500	3 850	PZK	
Tistrup	2010	Tistrup Varmeværk, DK	Tistrup Denmark	5 400	3 780	PZK	
Ulsted	2006	Ulsted Varmevaerk, DK	Ulsted Denmark	5 000	3 500	PZK	
Fernheizwerk / AEVG	2006	solar.nahwaerme.at, AT	Graz Austria	4 960	3 472	PZK	
Ærøskøping	1998	Ærøskøping Fjernvarme, DK	Ærøskøping Denmark	4 900	3 430	PZK	
Lyckebo	1983	Uppsala Energi AB, SE	Lyckebo Sweden	4 320	3 024	PZK	WTES
Friedrichshafen	1996	Techn. Werke Friedrichsh., DE	Friedrichshafen Germany	4 050	2 835	PZK	WTES
Wasserwerk Andritz	2009	solar.nahwaerme.at, AT	Graz Austria	3 860	2 702	PZK	
Hejnsvig	2010	Hejnsvig Varmeværk, DK	Hejnsvig Denmark	3 700	2 590	PZK	
Rise	2001	Rise Fjernvarme, DK	Rise Denmark	3 575	2 503	PZK	WTES

Ry	1988	Ry Fjernvarme A/S, DK	Ry Denmark	3 040	2 128	PZK	
Hilleroed/Ullered	2007	Hilleroed Fjernvarmevaerk, DK	Hilleroed/Ulleroed Denmark	3 007	2 105	PZK	
Hamburg	1996	EON Hanse, DE	Hamburg Germany	3 000	2 100	PZK	WTES
Rome	2008	Metro Cash&Carry, IT	Rome Italy	3 000	2 100	PZK	
München	2007	Stadtwerke München, DE	München Germany	2 900	2 030	PZK	WTES
2MW	2002	ENECO Energy, NL	2MW Netherlands	2 900	2 030	PZK	ATES
Aldemar (Cretan Village)	2000	, GR	Aldemar Greece	2 785	1 950	PZK	
Sarantis	1998	Sarantis S.A., GR	Sarantis Greece	2 700	1 890	PZK	
Lambohov	1980	Lambohov Samf., SE	Lambohov Sweden	2 700	1 890	PZK	WTES
Greta Candia Maris	2002	, GR	Greta Candia Maris Greece	2 538	1 777	PZK	
Nordby	2002	Samsø Energiselskab, DK	Nordby Denmark	2 500	1 750	PZK	
Berliner Ring	2004	solar.nahwaerme.at, AT	Graz Austria	2 480	1 736	PZK	
Ingelstad	1984	Växjö kommun, SE	Ingelsted Sweden	2 460	1 722	PZK	WTES
Breda	1997	Van Melle, NL	Breda	2 400	1 680	PZK+DB	

			Netherlands				
Groningen	1985	De Huismeester, NL	Groningen Netherlands	2 400	1 680	TVK	BTES
Anneberg	2002	HSB Brf Anneberg, SE	Anneberg Sweden	2 400	1 680	PZK	BTES
Augsburg	1998	Bayerisches Staatsministerium, DE	Augsburg Germany	2 000	1 400	PZK	ATES
Torvalla	1982	Östersund Energi AB, SE	Torvalla Sweden	2 000	1 400	PZK	
Fränsta	1999	Vattenfall Energimarknad, SE	Fränsta Sweden	1 650	1 155	PZK	
Stuttg.Burgholzhof	1998	EnBW, DE	Stuttg.Burgholzhof Germany	1 635	1 145	PZK	
Lisbon	2007	CGD, PT	Lisbon Austria	1 620	1 134	PZK	
Eggenstein	2008	Stadtwerke Eggenheim, DE	Eggenstein Germany	1 600	1 120	PZK	WGTES
Polideportivo Haro	2007	Municipality Haro, ES	Polideportivo Haro Spain	1 500	1 050	NK	
Arteixo. A Coruña	2003	Inditex, ES	Arteixo. A Coruña Austria	1 500	1 050	PZK	
Czestochowa	2006	, PL	Czestochowa Austria	1 500	1 050	PZK	
Ekoviikki	2000	Misc. housing companies, FIN	Ekoviikki Finland	1 430	1 001	PZK	
Gårdsten	2000	Bostads AB Gårdsten, SE	Gårdsten Sweden	1 410	987	PZK	

UPC Arena	2002	nahwaerme.at, AT	Graz Austria	1 407	985	PZK	
PlanLesOuates	1995	La City Solaire im, CH	Planes-Les-Ouates Switzerland	1 400	980	NK	
Bo01	2001	Sydraft Värme Syd AB, SE	Bo01 Sweden	1 400	980	PZK	
Hannover-Kronsberg	2000	EON, DE	Hannover-Kronsberg Germany	1 350	945	PZK	WGTES
Esslingen	2007	Festo, DE	Esslingen Germany	1 330	931	TVK	
Ingelstad	1979	Växjö kommun, SE	Ingelstad Sweden	1 320	924	PKK	WTES
Gleinstätten	2006	Nahwärme Gleinstätten GmbH, AT	Gleinstätten Austria	1 315	921	PZK	
Podd_bice	2004	Municipality Poddebice, PL	Poddebice Austria	1 287	901	PZK	
Bilderland	1979	Bilderland GmbH, AT	Bilderland Austria	1 284	899	PZK	
Eibiswald	1997	Nahwärmegen. Eibiswald, AT	Eibiswald Austria	1 250	875	PZK	
Säter	1992	Säter Energi AB, SE	Säter Sweden	1 250	875	PZK	
Lisse	1995	Dames&Werkhoven, NL	Lisse Netherlands	1 200	840	PZK	
Älta	1997	Vattenfall Energimarknad, SE	Älta Sweden	1 200	840	PZK+R	
Kullavik 4	1987	EKSTA Bostads AB, SE	Kullavik	1 185	830	PZK	

			Sweden				
Les Salines	2005	La Rochelle City, FR	Les Salines France	1 164	815	PZK	
Bad Mitterndorf	1997	Genossensch.. Biosolar BM, AT	Bad Mitterndorf Austria	1 120	784	PZK	
Neuchatel	1997	Swiss Fed Office of Stat., CH	Neuchatel Switzerland	1 120	784	NK	WTES
Rodos Place	2000	, GR	Rodos Place Greece	1 115	781	PZK	
Kerava	1985	Private association, FIN	Kerava Finland	1 100	770	PZK	BTES
Kockum Fritid	2002	Sydraft Värme Syd AB, SE	Kockum Fritid Sweden	1 100	770	PZK	
Heleneholm	2006	Malmö Stad, SE	Heleneholm Sweden	1 100	770	PZK	
Fjärås Vetevägen	1991	EKSTA Bostads AB, SE	Fjärås Vetevägen Sweden	1 095	767	PZK	
Innsbruck	1999	Wohnen am Lohbach I, AT	Innsbruck Austria	1 080	756	PZK	
Salzburg	2000	Gem. Salzburger Wohn. m.b.H., AT	Salzburg Austria	1 056	739	PZK	
Innsbruck	2009	Lodenareal, AT	Innsbruck Austria	1 050	735	PZK	
Tyras	1999	Tyras S.A., GR	Tyras Greece	1 040	728	PZK	
Tubberupvænge	1991	Herlev kom. Boligselskab, DK	Tubberupvænge Denmark	1 030	721	PZK	WTES

Åsa	1985	EKSTA Bostads AB, SE	Åsa Sweden	1 030	721	PZK	
Saltum	1988	Saltum Fjernvarme A/S, DK	Saltum Denmar	1 005	704	PZK	
Le Pont du Traux	1999	, CH	Le Pont du Traux Switzerland	1 000	700	NK	
StuttgartBrenzstr.	1997	EnBW, DE	Stuttgart Brenzstr. Germany	1 000	700	PZK	
Rostock, Bhöhe	2000	WIRO mbH, DE	Rostock Germany	1 000	700	PZK	ATES
Odensbacken	1991	Örebro Energi, SE	Odensbacken Sweden	1 000	700	PZK	
Ellös	2010	Orust kommun, SE	Ellös Sweden	1 000	700	PZK	

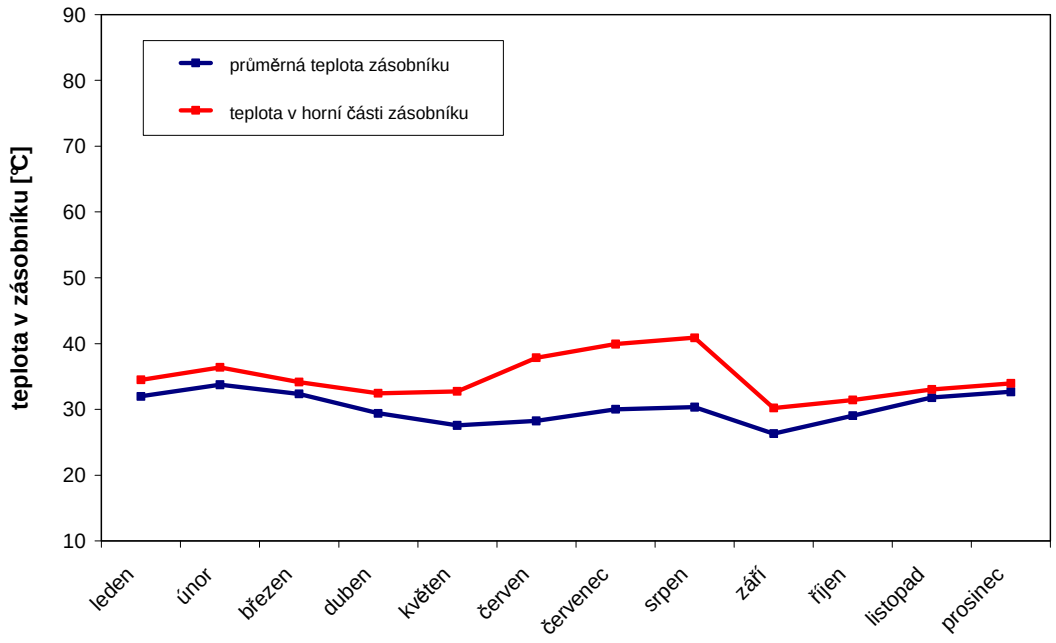
Zdroj: [2]

Typ soustavy - dle akumulace		**Typy kolektorů**		**Typ zásobníku**		**Integrace**	
SZ	Sezónní zásobník	**PZK**	plochý zasklený kolektor	**ATES**	Zvodněné podloží	**Biomasa**	Štěpka, peletky atd.
DZ	Denní zásobník	**TVK**	trubkový vakuový kolektor	**BTES**	Zásobník se zemními sondami	**Tepelné čerpadlo**	V CZT je použito TČ pro dosažení žádaných parametrů
XZ	Bez zásobníku	**PKK**	parabolický koncentrační kolektor	**WTES**	Vodní akumulační nádrž		
		NK	nezasklený kolektor - absorbér	**PTES**	Výkopový zásobník		
		DB	Drain back	**WGTES**	Štěrkovodní zásobník		
		R	reflektor				

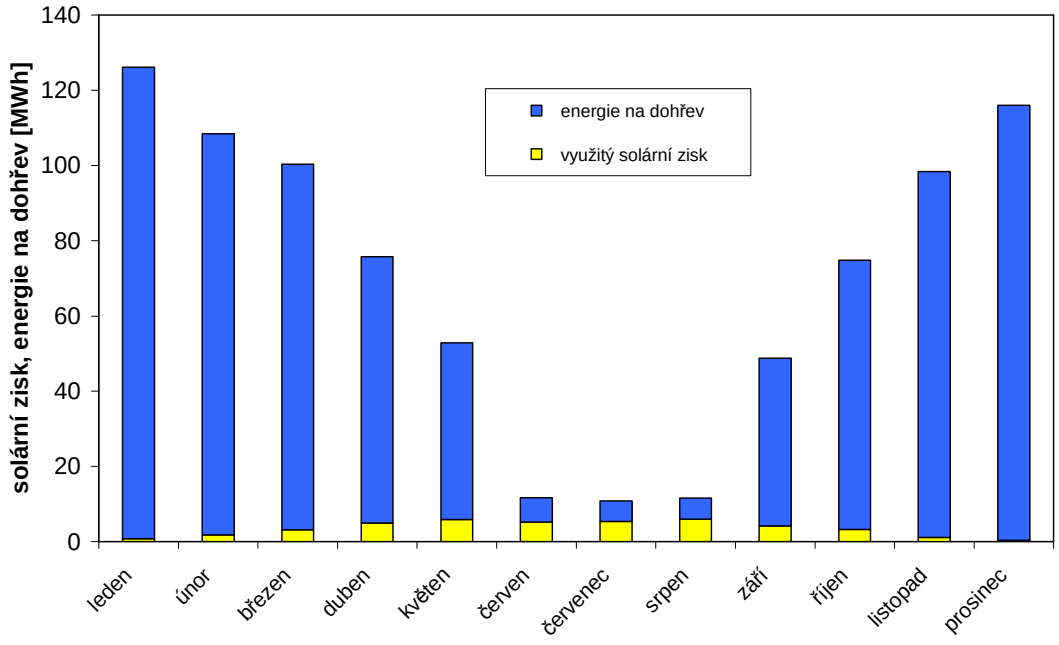
6.2 ENERGETICKÉ VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

6.2.1 Energetické vyhodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění a příprava TV

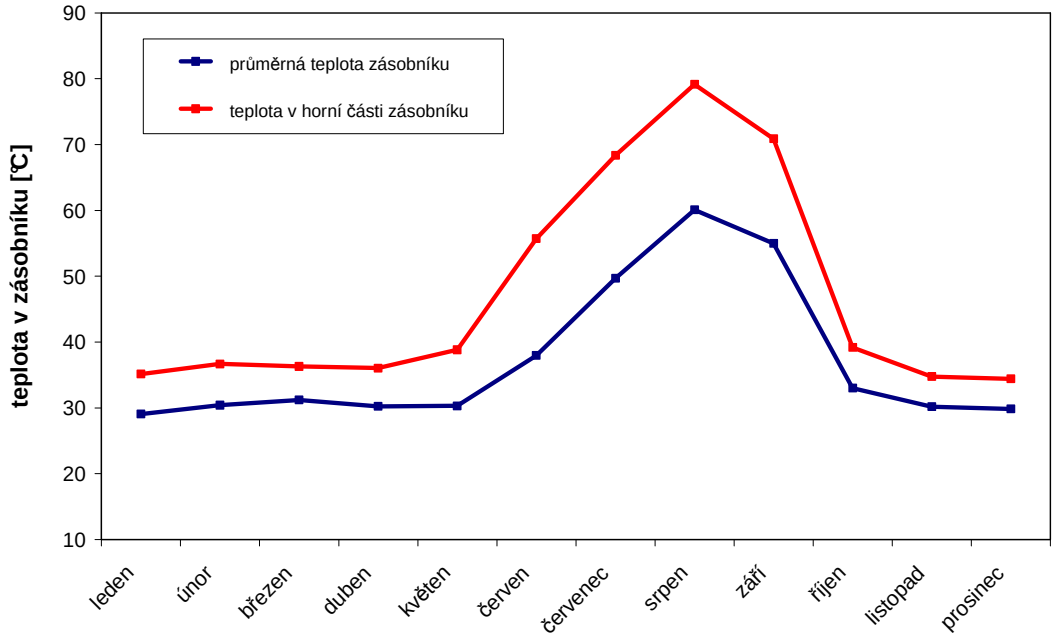
Graf 46 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



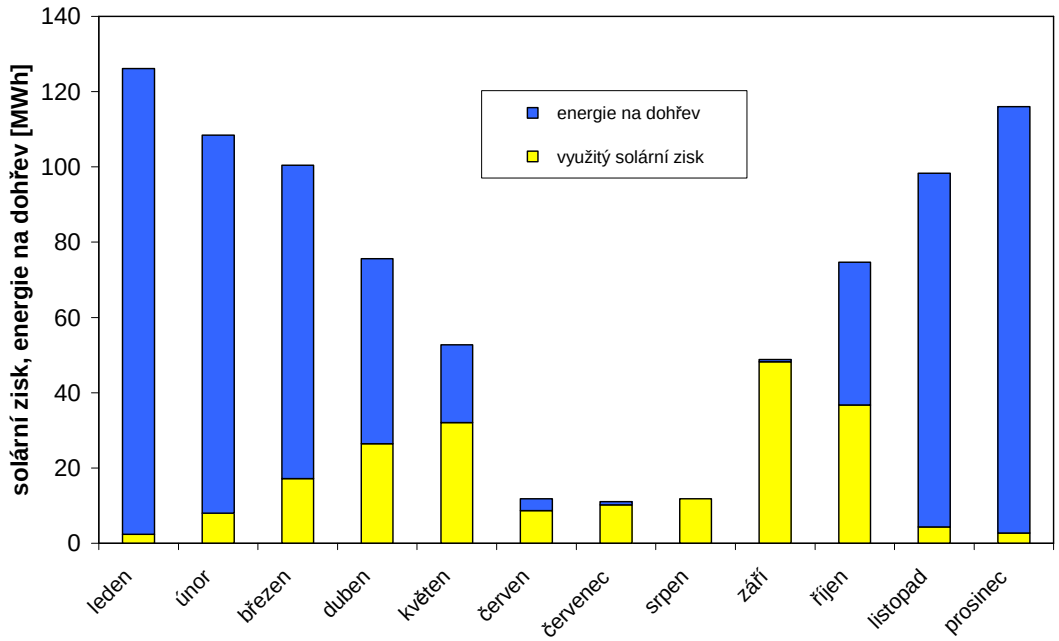
Graf 47 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



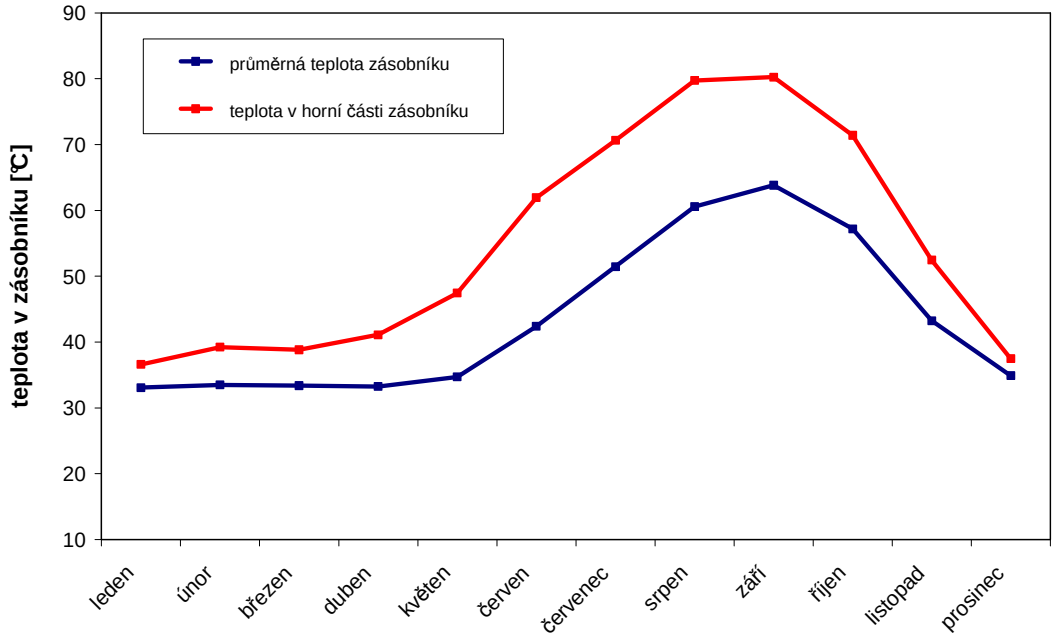
Graf 48 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



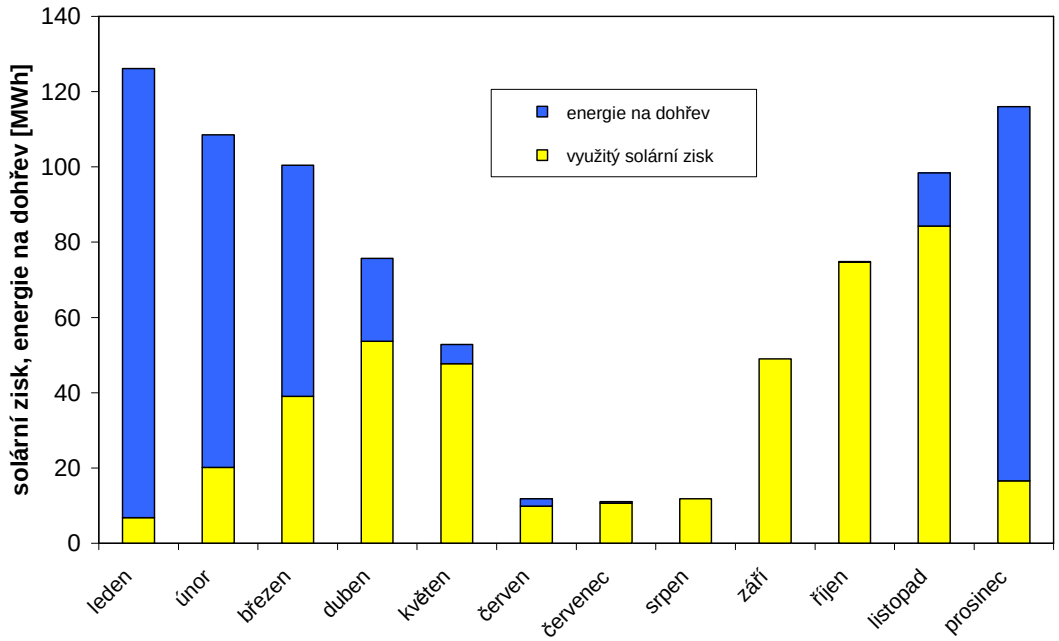
Graf 49 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



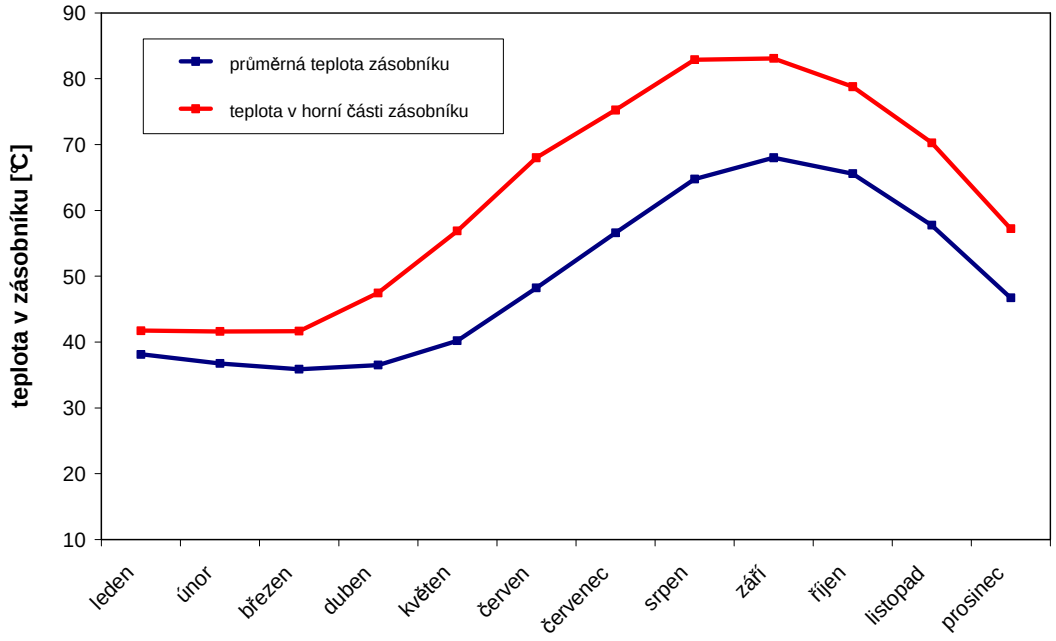
Graf 50 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



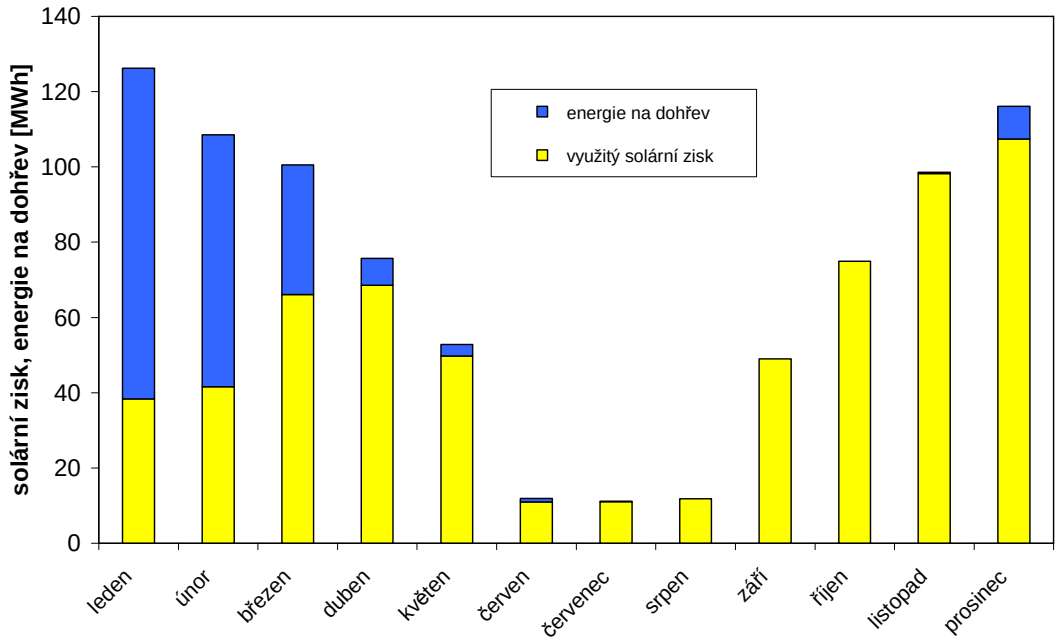
Graf 51 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



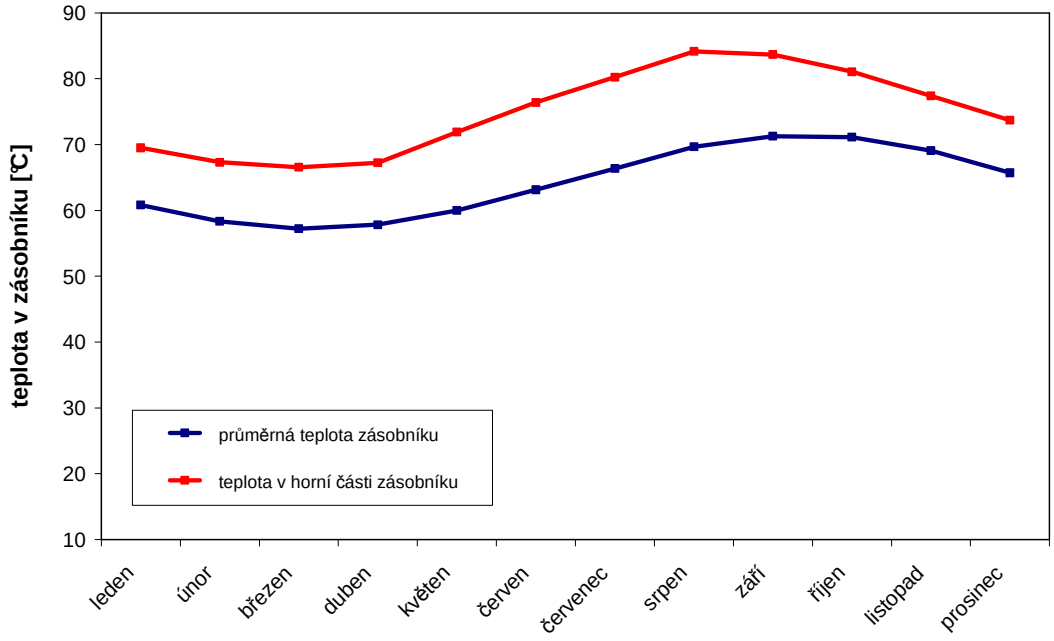
Graf 52 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



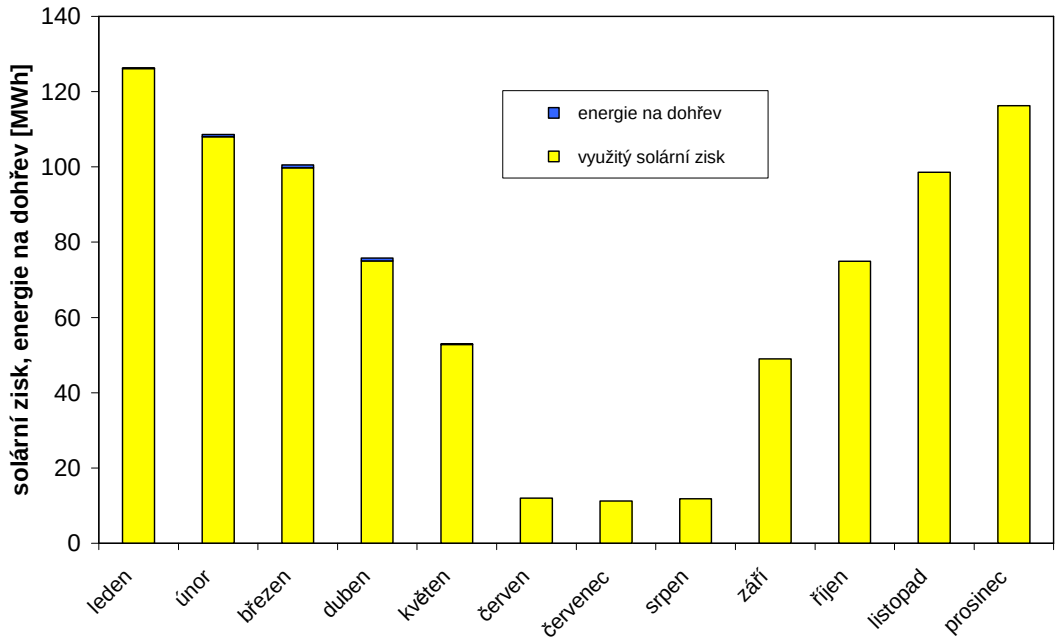
Graf 53 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)



Graf 54 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)

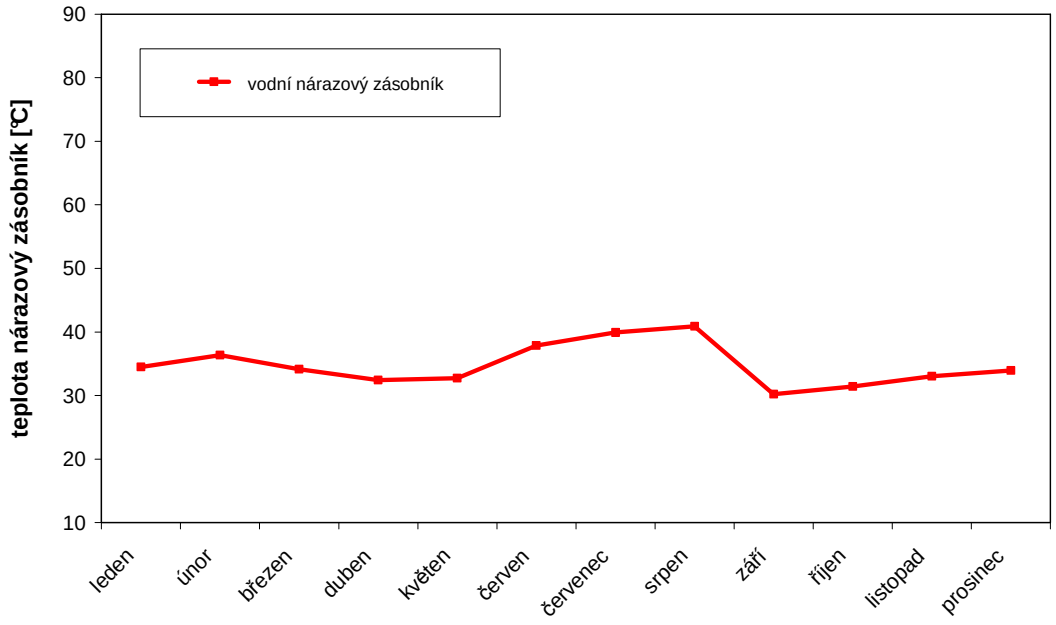


Graf 55 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, vodní zásobník)

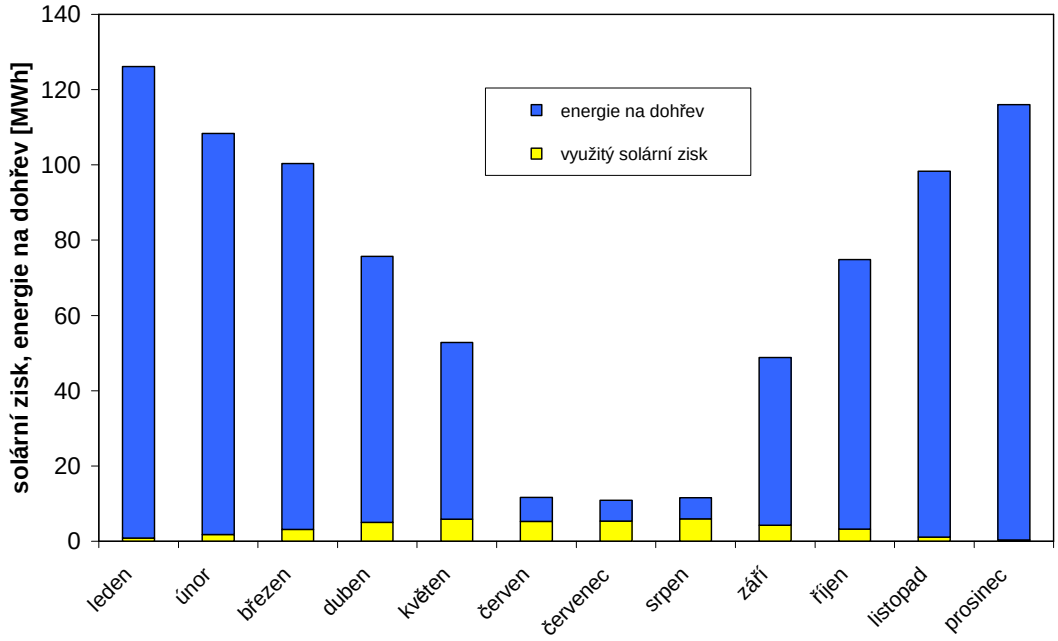


6.2.2 Energetické vyhodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění a příprava TV

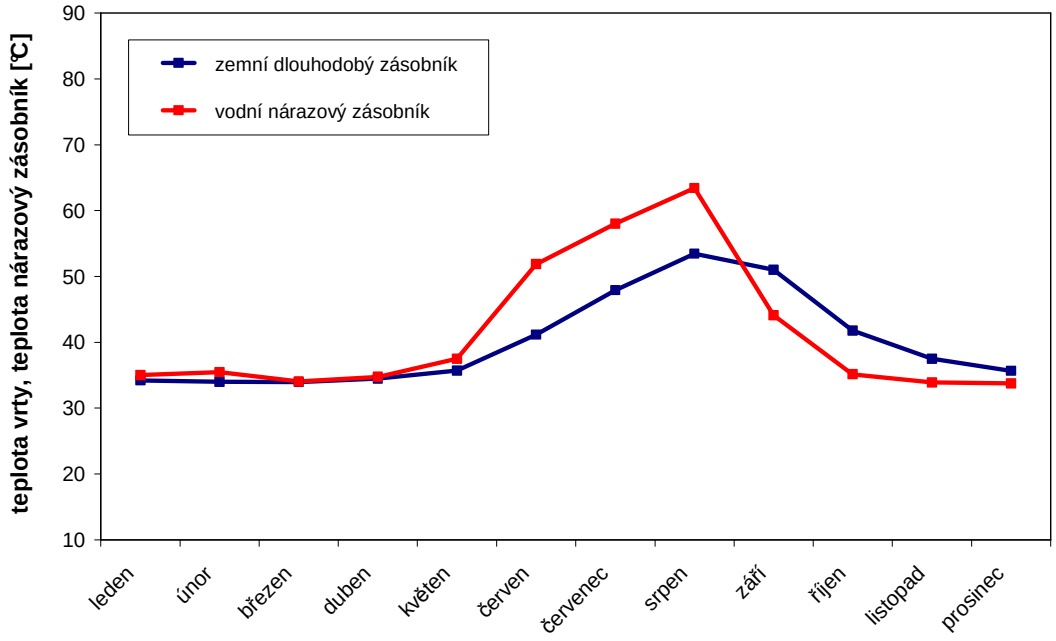
Graf 56 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



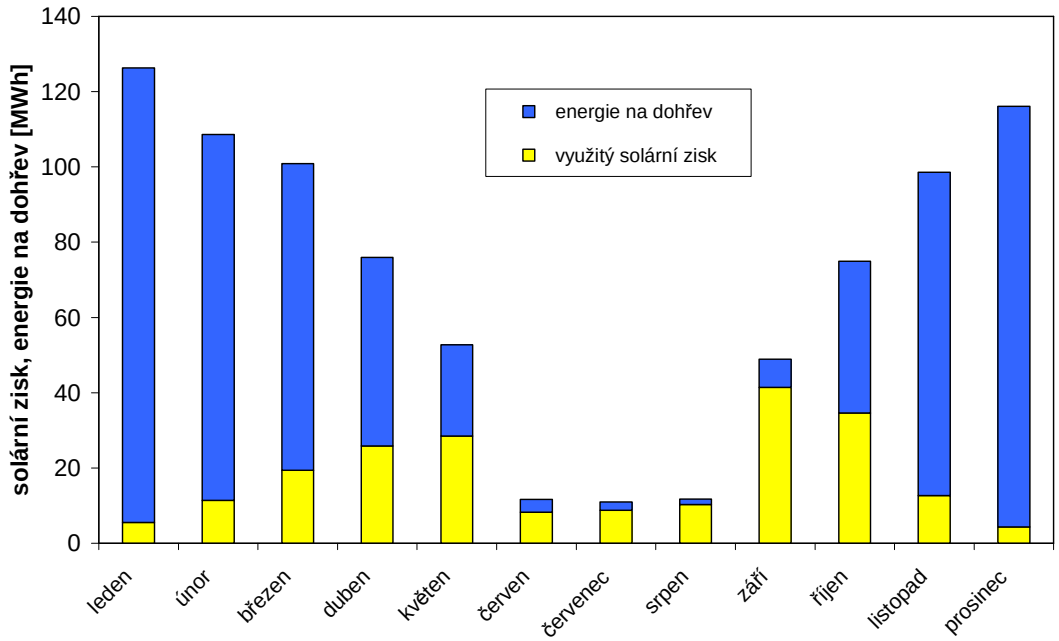
Graf 57 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 5 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



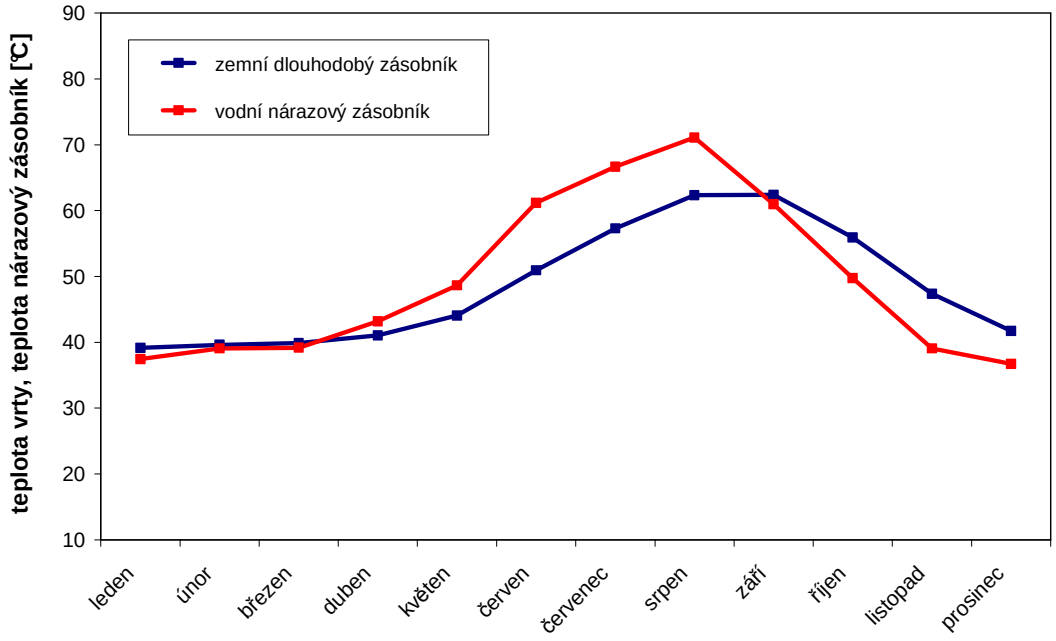
Graf 58 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



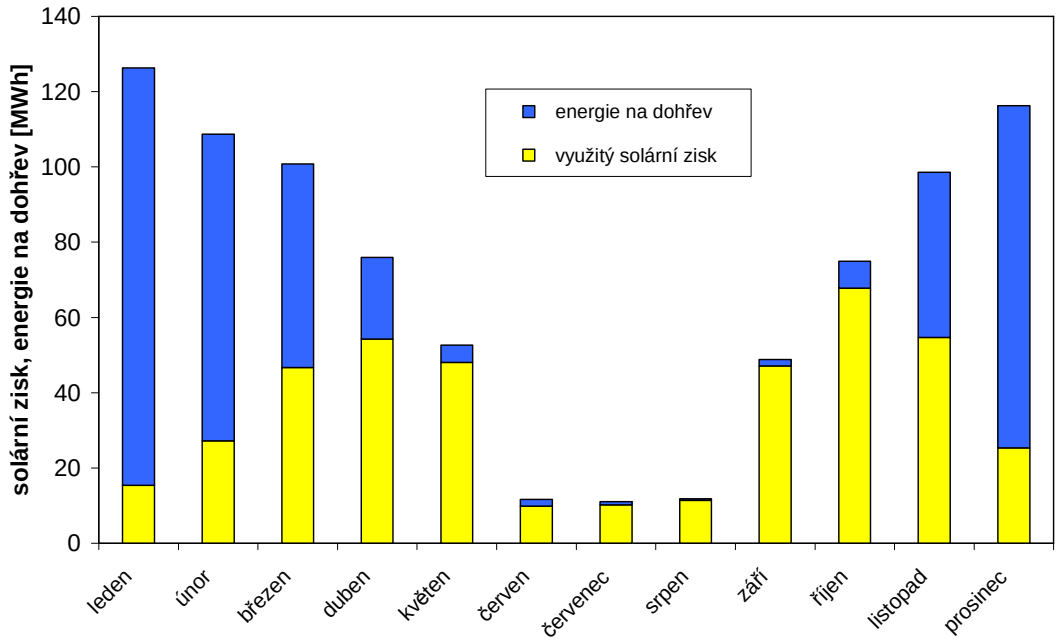
Graf 59 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



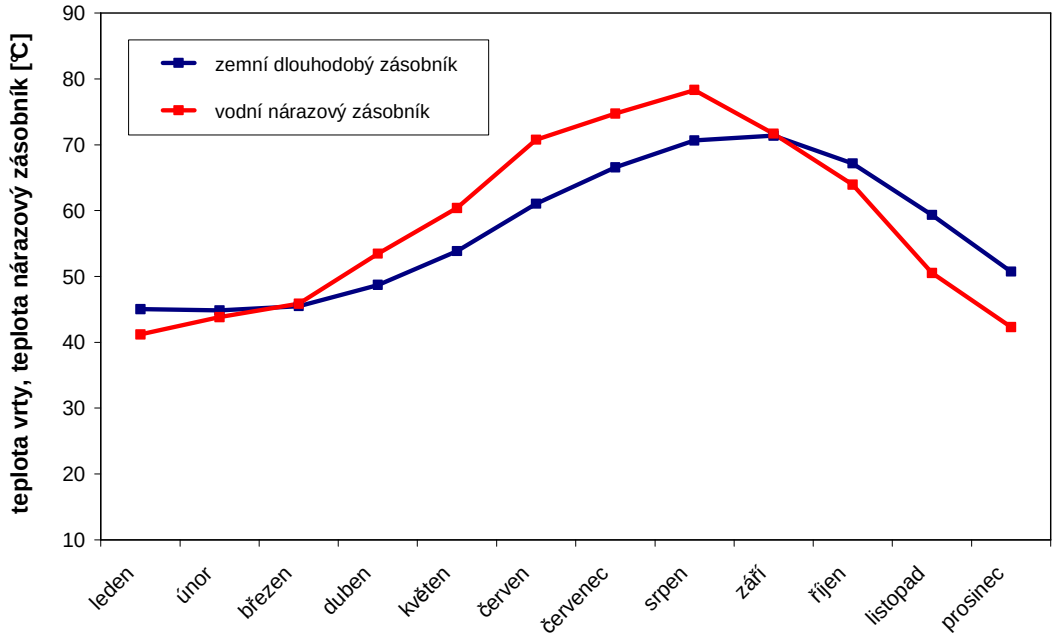
Graf 60 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



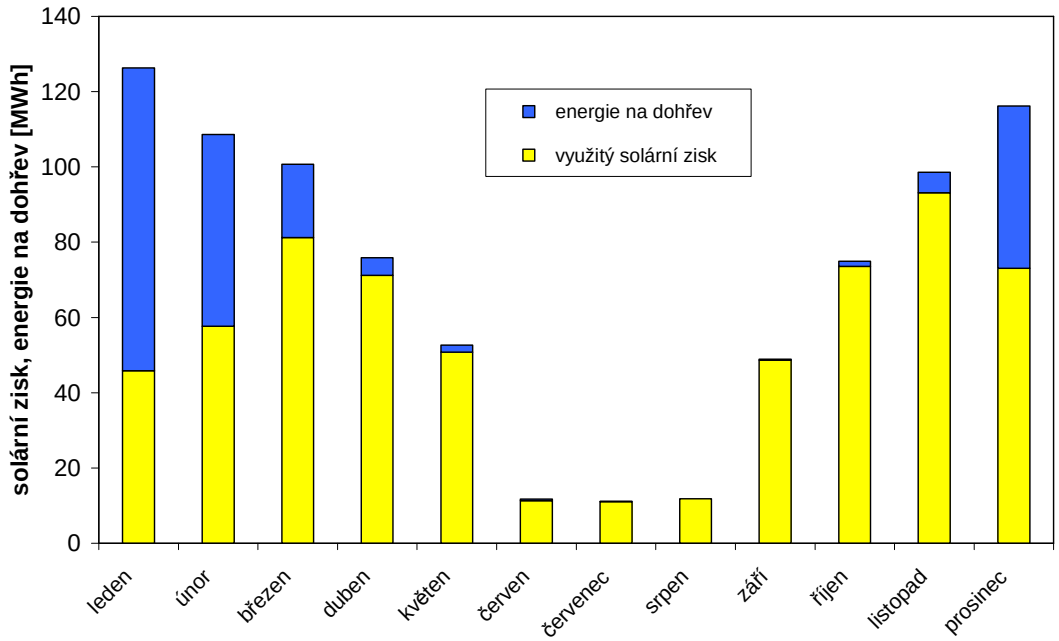
Graf 61 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



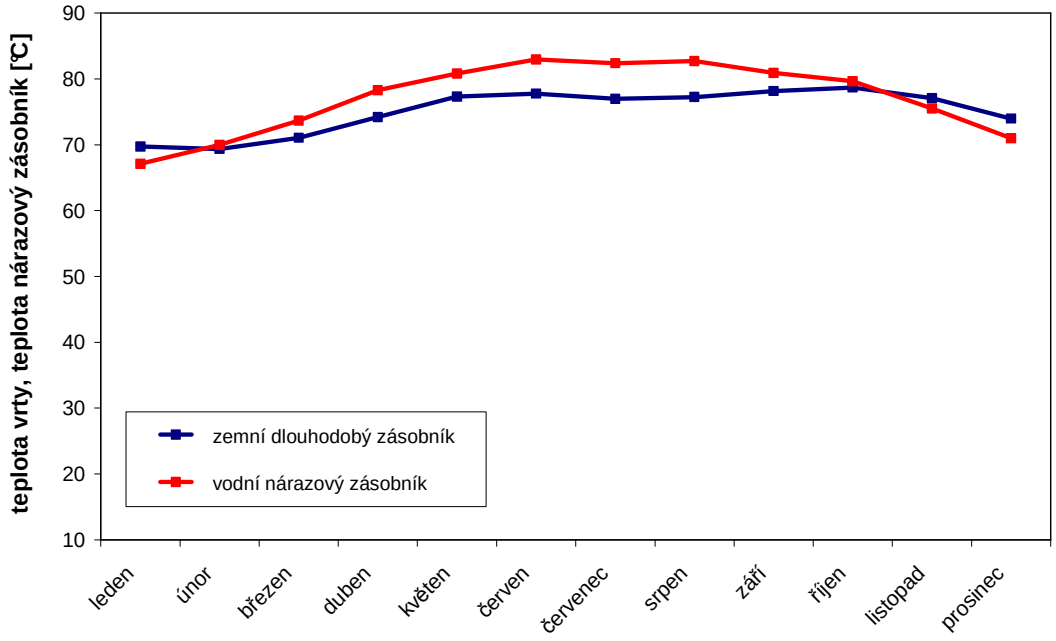
Graf 62 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



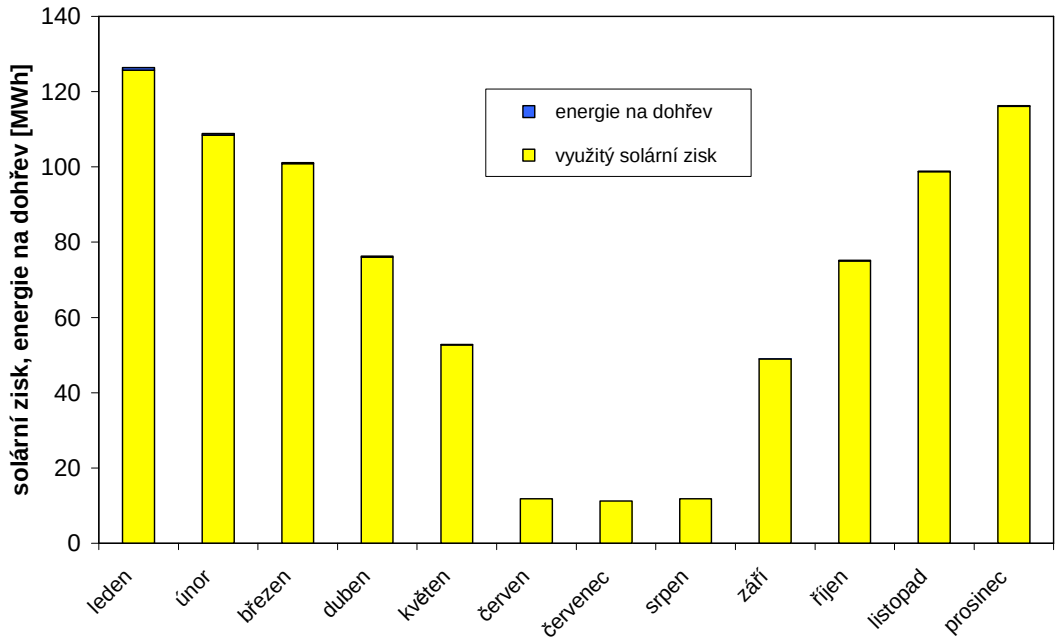
Graf 63 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)



Graf 64 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)

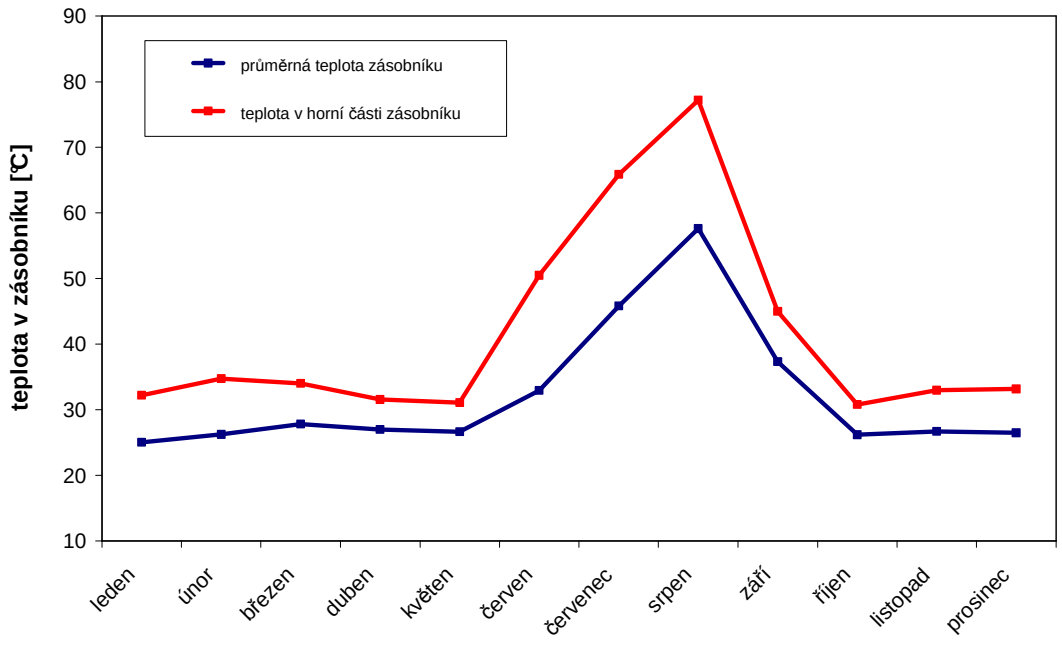


Graf 65 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění a příprava TV, zemní zásobník)

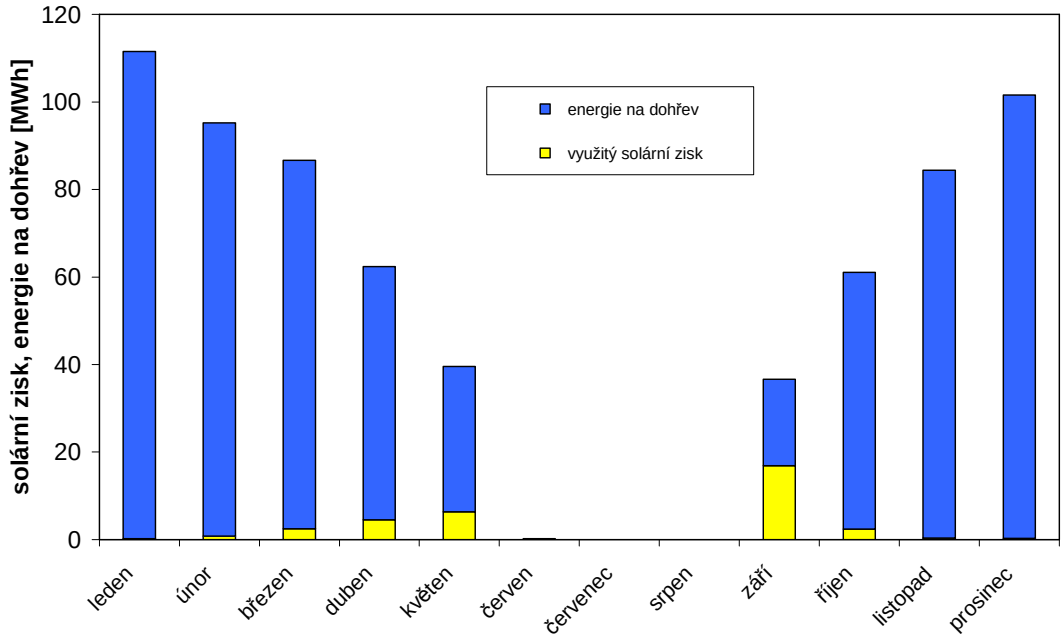


6.2.3 Energetické vyhodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění

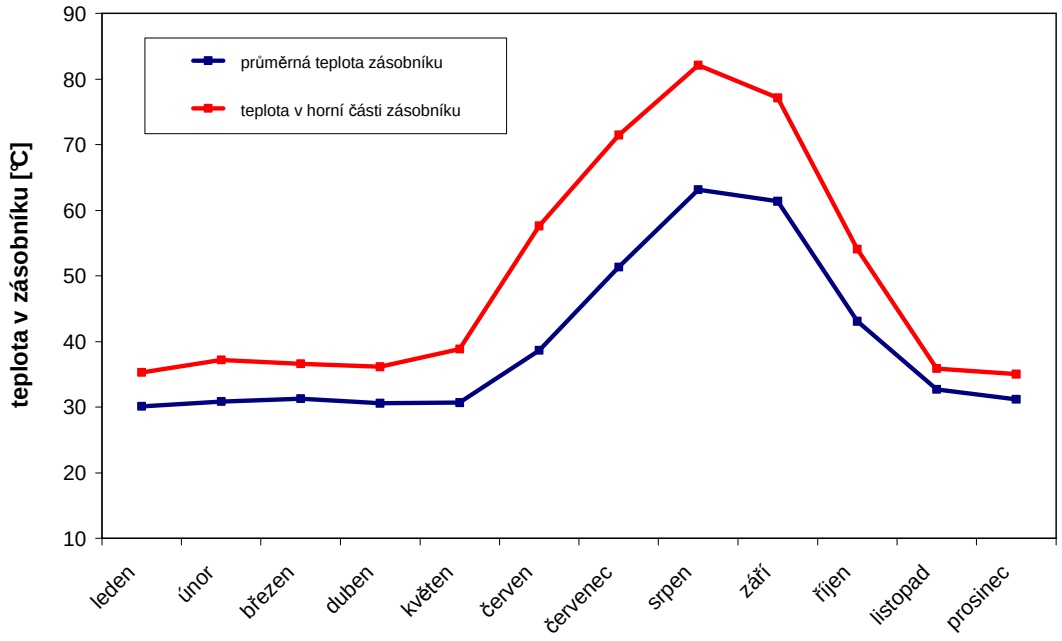
Graf 66 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, vodní zásobník)



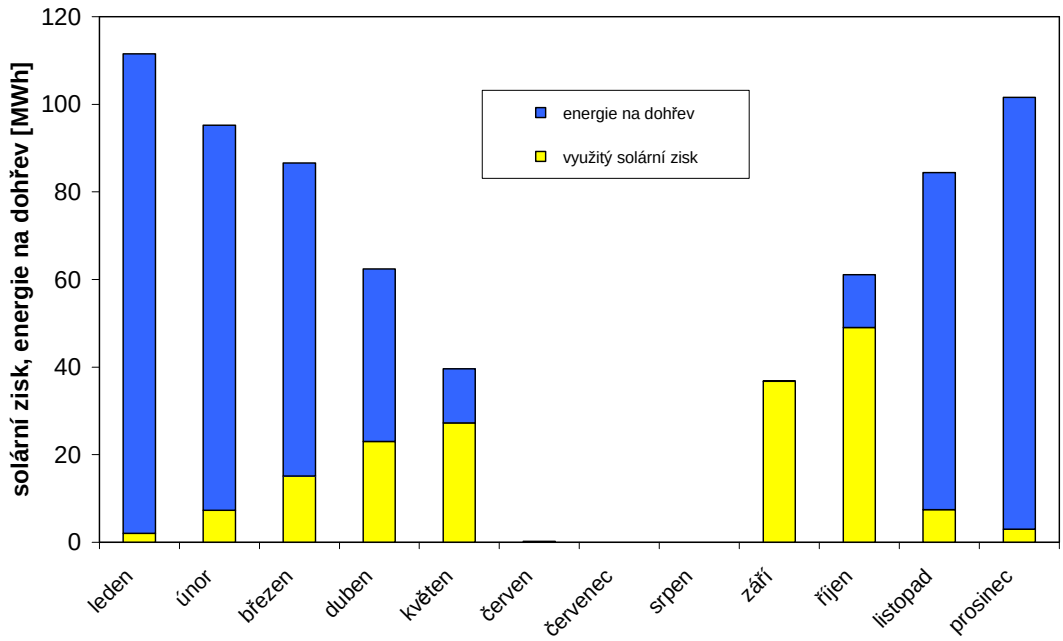
Graf 67 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, vodní zásobník)



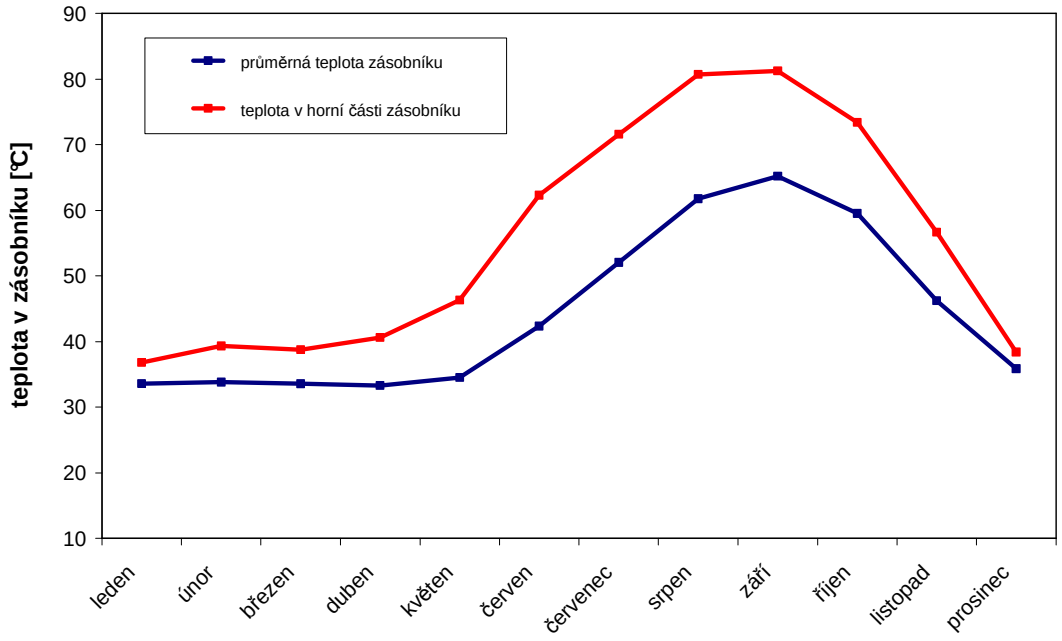
Graf 68 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění, vodní zásobník)



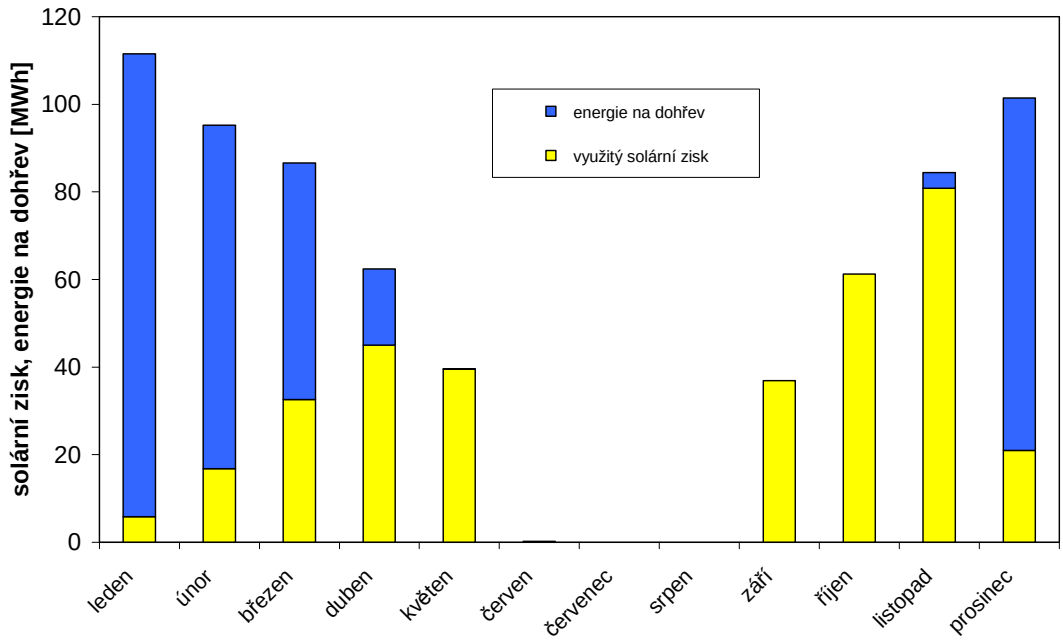
Graf 69 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 25 % (vytápění, vodní zásobník)



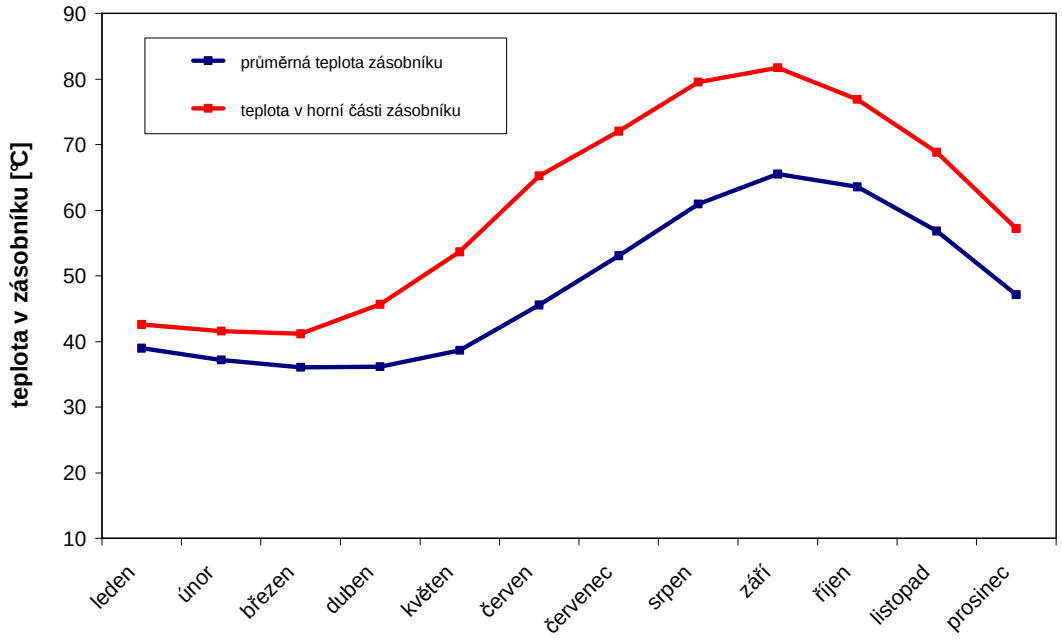
Graf 70 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění, vodní zásobník)



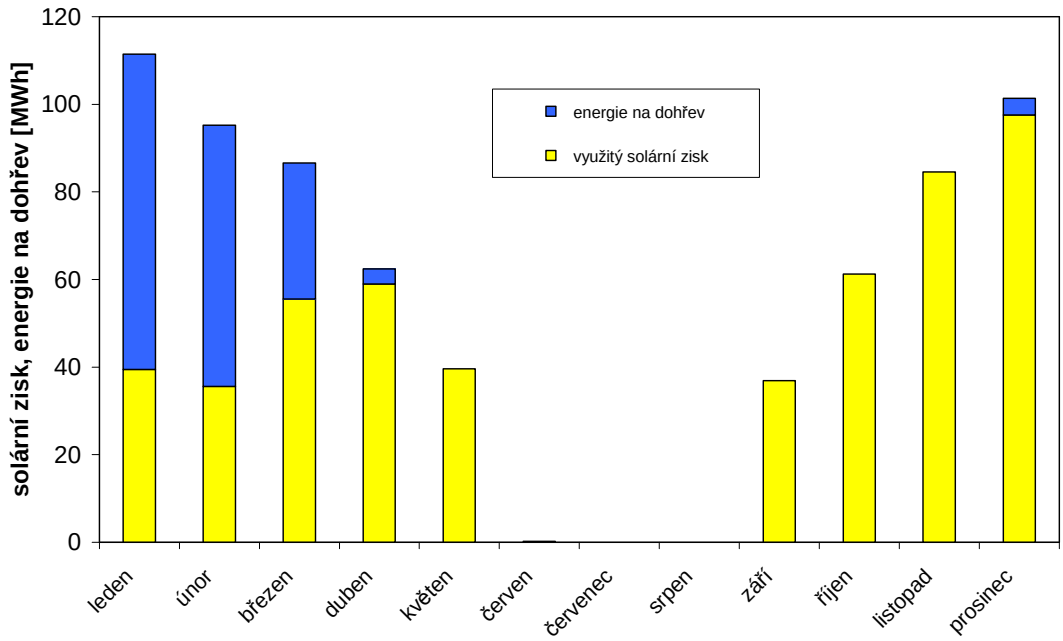
Graf 71 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 50 % (vytápění, vodní zásobník)



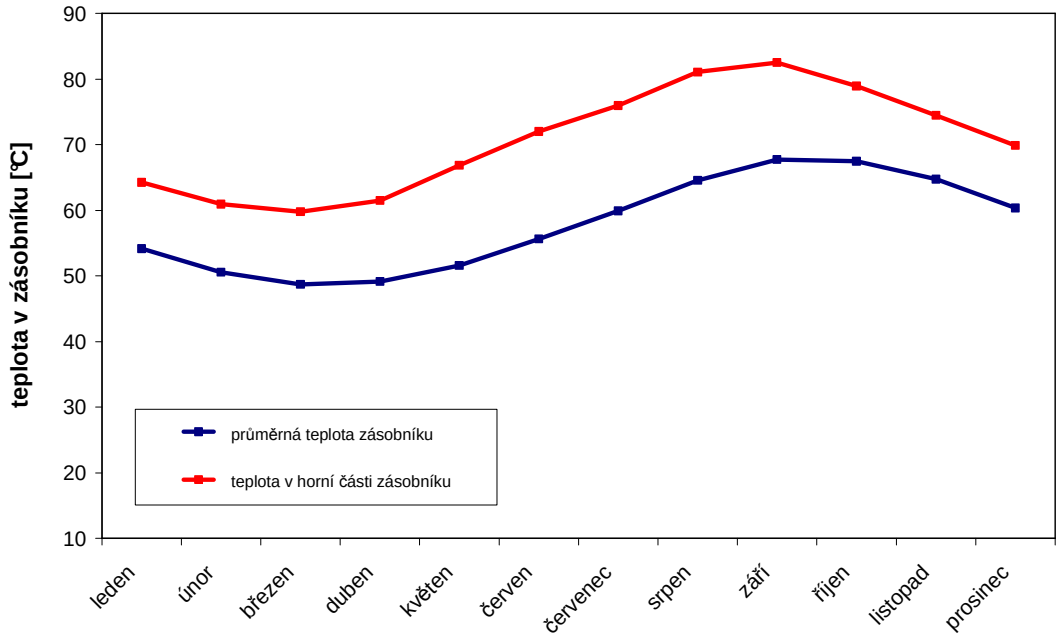
Graf 72 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění, vodní zásobník)



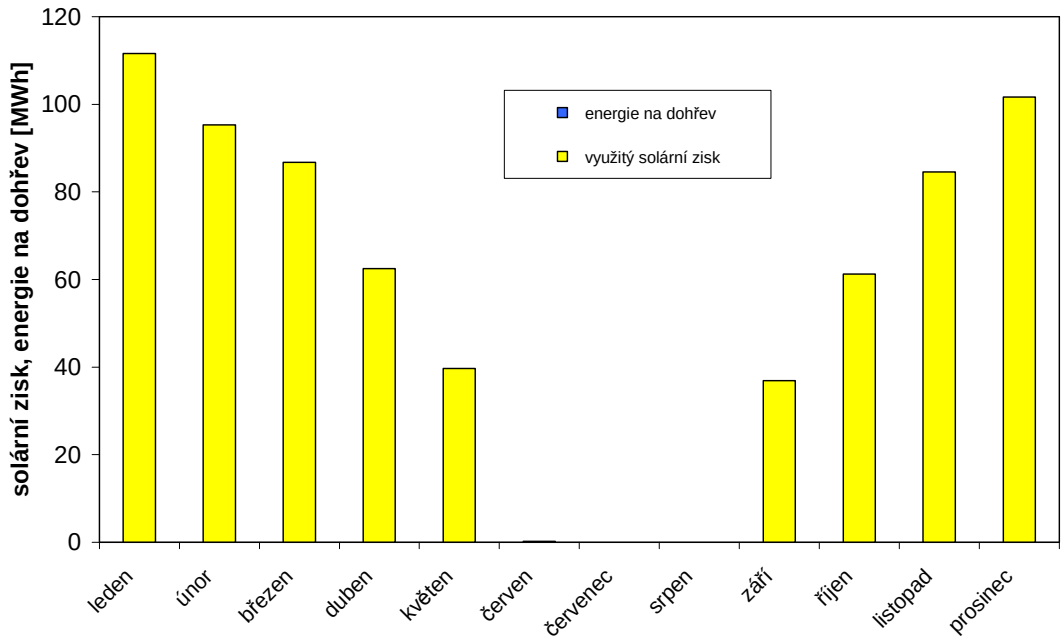
Graf 73 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 75 % (vytápění, vodní zásobník)



Graf 74 – Průběh teplot v zásobníku tepla pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění, vodní zásobník)

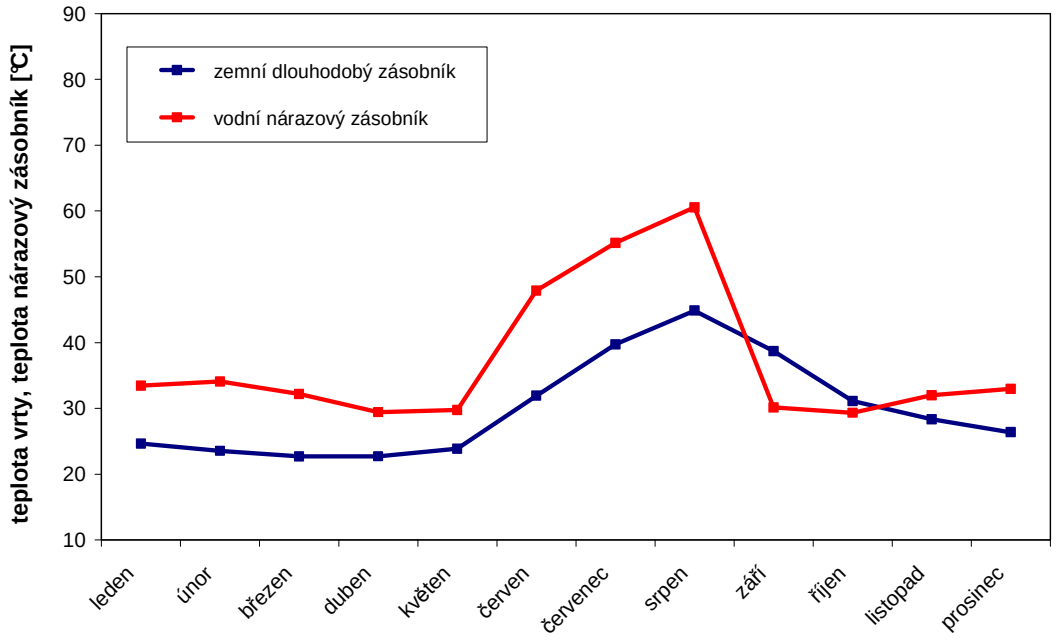


Graf 75 – Energetická bilance soustavy pro návrhové solární pokrytí 100 % (vytápění, vodní zásobník)

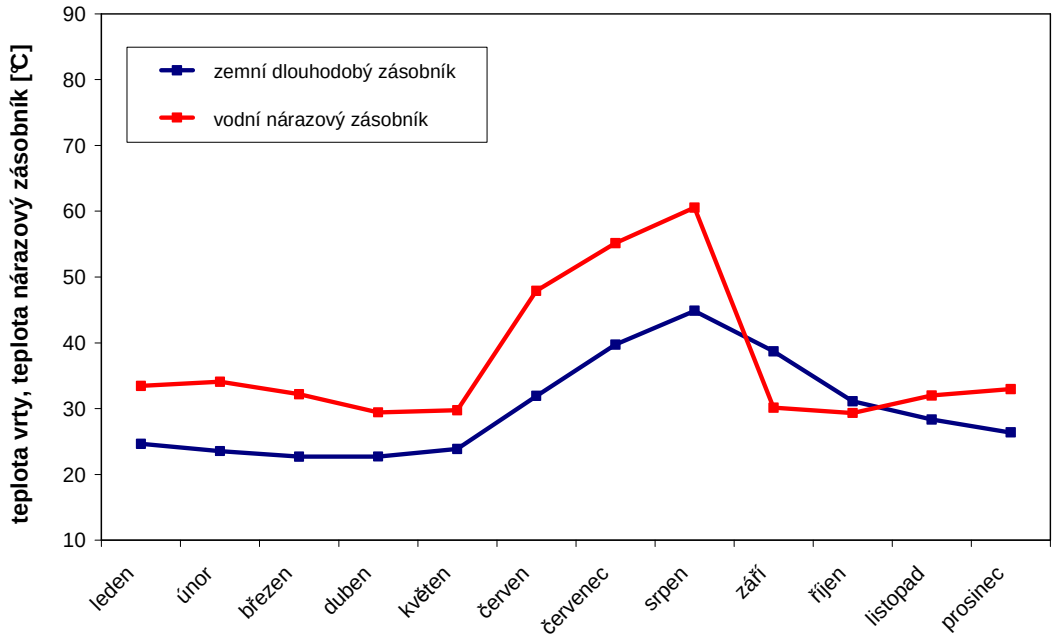


6.2.4 Energetické vyhodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění

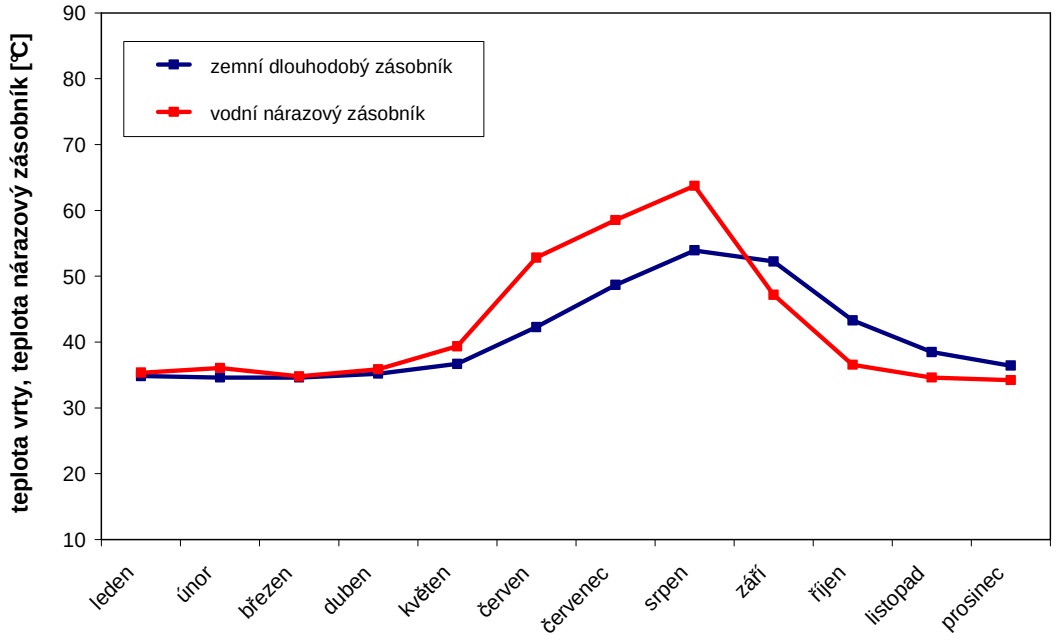
Graf 76 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové solární pokrytí 5 % (vytápění, zemní zásobník)



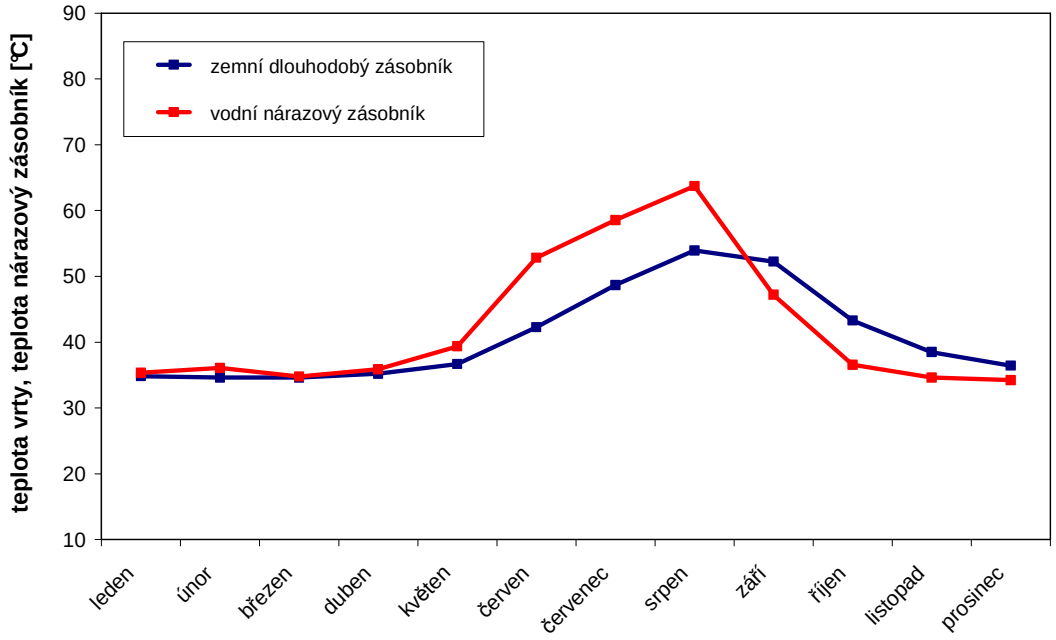
Graf 77 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 5 % (vytápění, zemní zásobník)



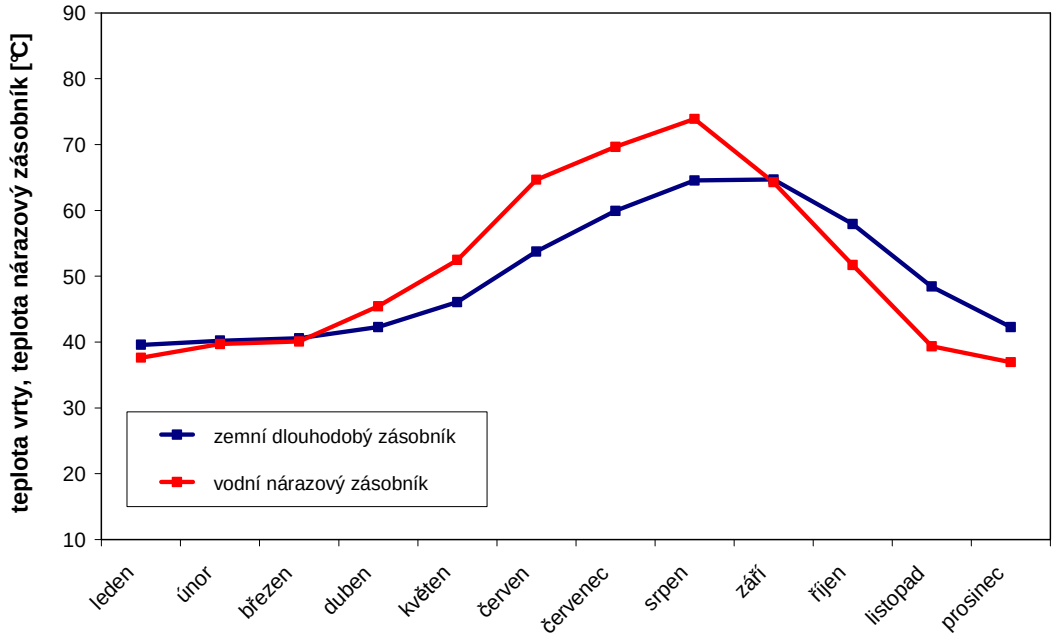
Graf 78 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění, zemní zásobník)



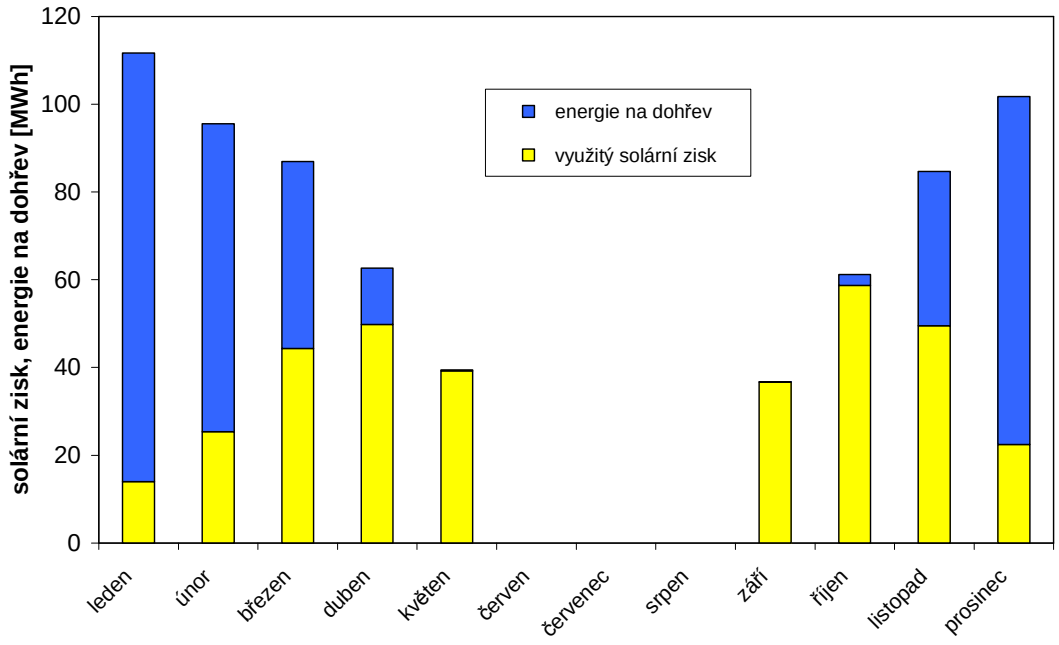
Graf 79 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 25 % (vytápění, zemní zásobník)



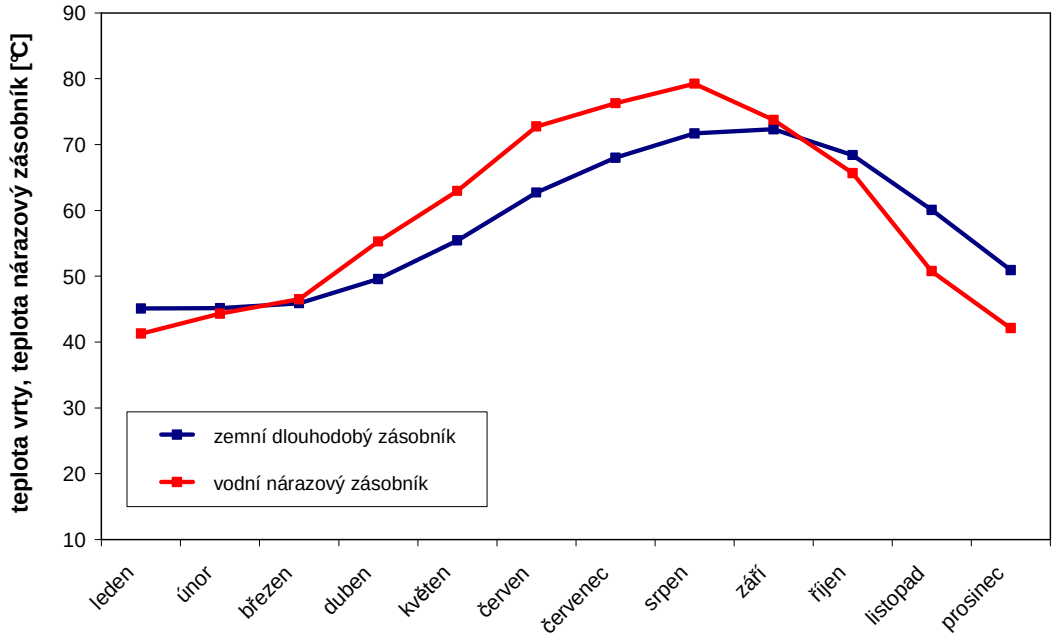
Graf 80 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění, zemní zásobník)



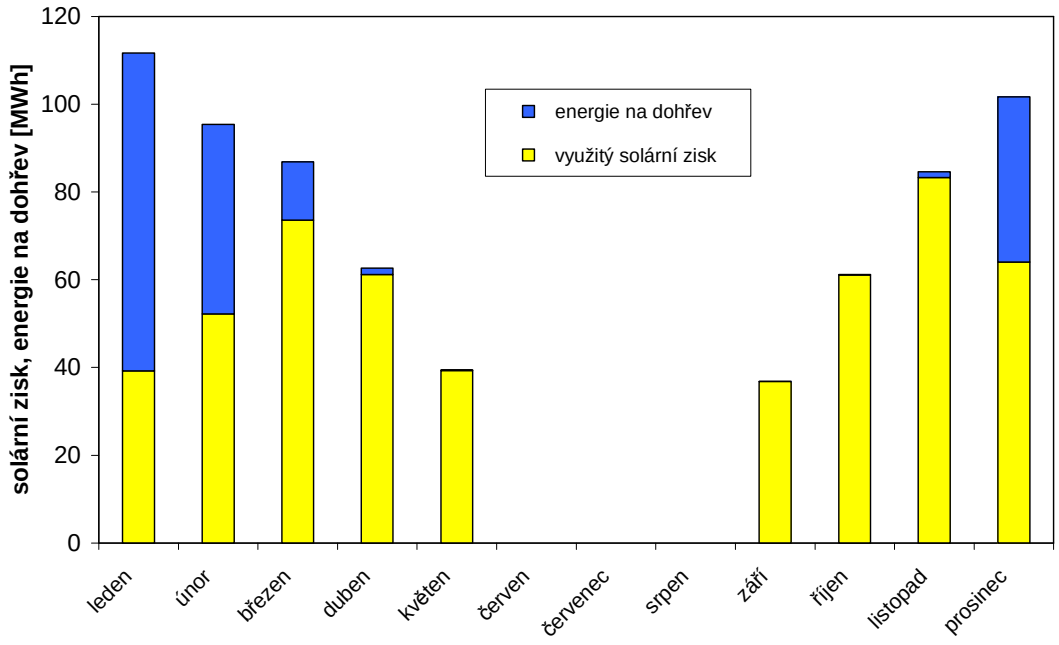
Graf 81 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 50 % (vytápění, zemní zásobník)



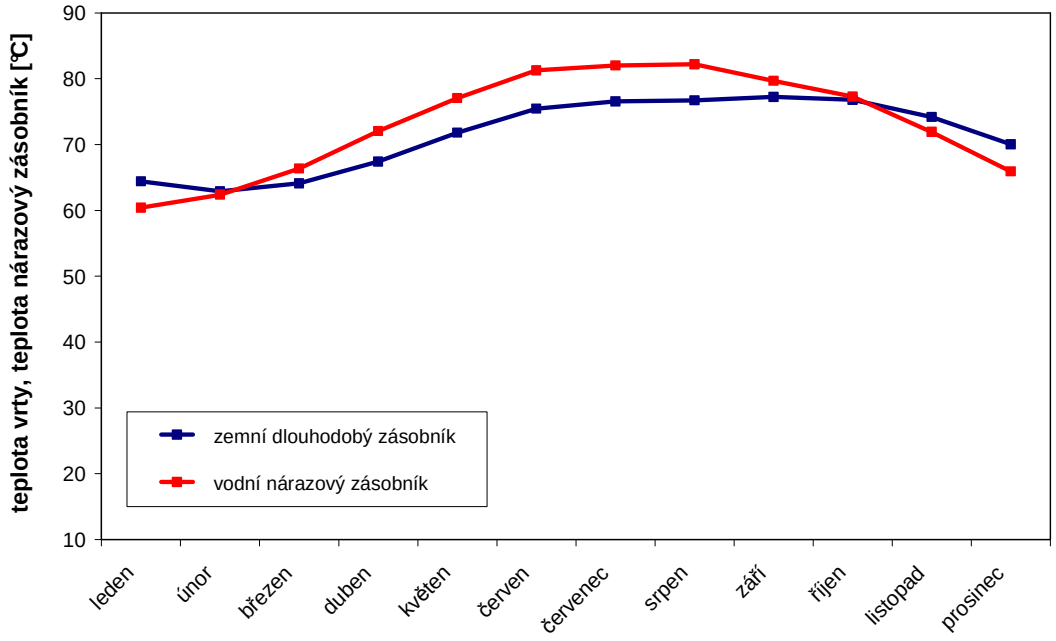
Graf 82 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění, zemní zásobník)



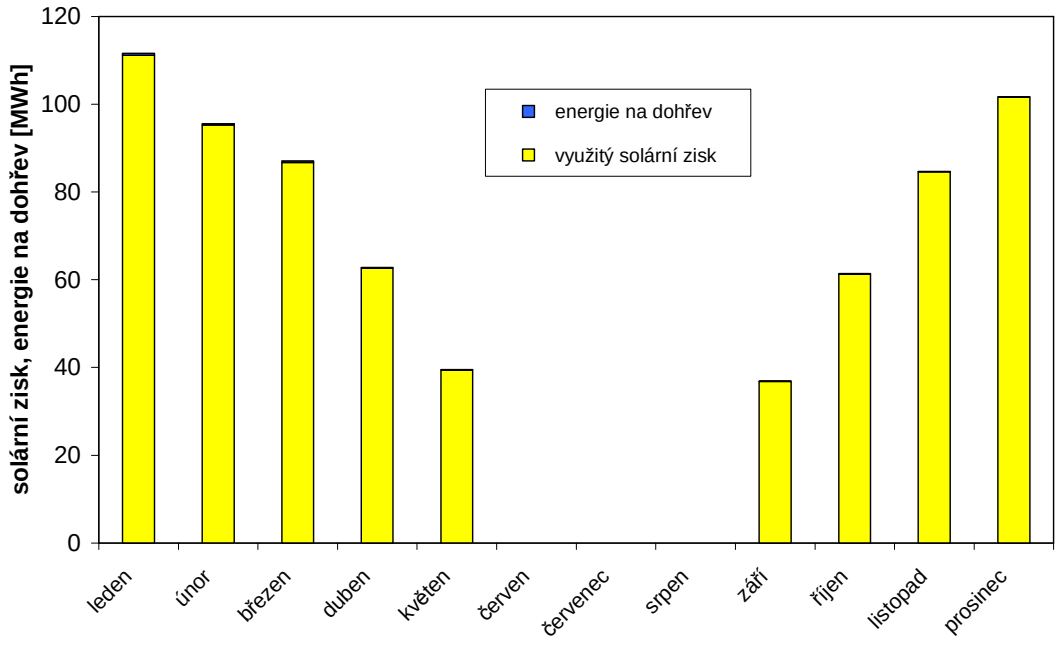
Graf 83 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 75 % (vytápění, zemní zásobník)



Graf 84 – Průběh teplot v zásobnících tepla pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění, zemní zásobník)



Graf 85 – Energetická bilance soustavy pro návrhové pokrytí 100 % (vytápění, zemní zásobník)



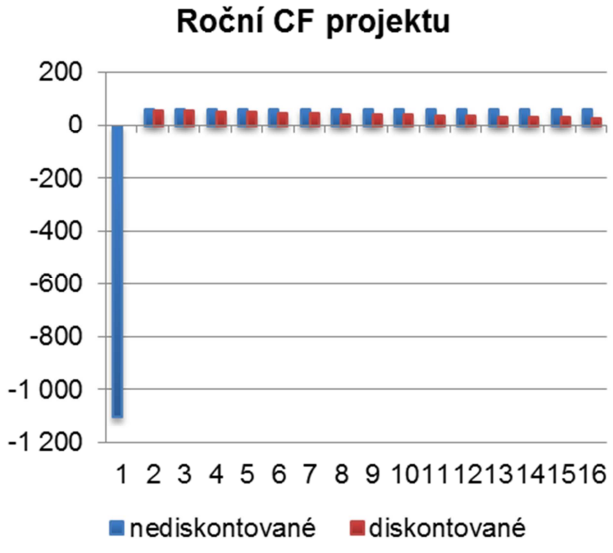
6.3 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

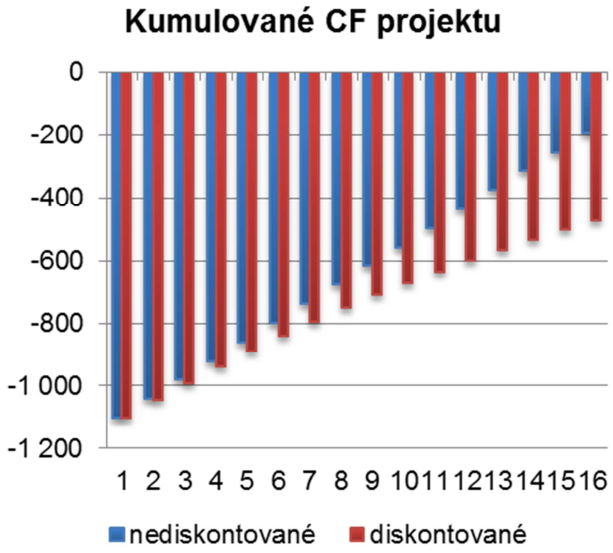
6.3.1 Ekonomické hodnocení varianty – Vodní zásobník – Vytápění a příprava TV

Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			1 103	-1 103		-1 103	-1 103	0
1	2014	1 285	1 224	0	61	58	-1 042	-1 045	0
2	2015	1 285	1 224	0	61	55	-981	-990	0
3	2016	1 285	1 224	0	61	52	-921	-937	0
4	2017	1 285	1 224	0	61	50	-860	-888	0
5	2018	1 285	1 224	0	61	48	-799	-840	0
6	2019	1 285	1 224	0	61	45	-739	-795	0
7	2020	1 285	1 224	0	61	43	-678	-752	0
8	2021	1 285	1 224	0	61	41	-617	-711	0
9	2022	1 285	1 224	0	61	39	-557	-672	0
10	2023	1 285	1 224	0	61	37	-496	-634	0
11	2024	1 285	1 224	0	61	35	-436	-599	0
12	2025	1 285	1 224	0	61	34	-375	-565	0
13	2026	1 285	1 224	0	61	32	-314	-533	0
14	2027	1 285	1 224	0	61	31	-254	-502	0
15	2028	1 285	1 224	0	61	29	-193	-473	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-473**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-2,3**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**18,2**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

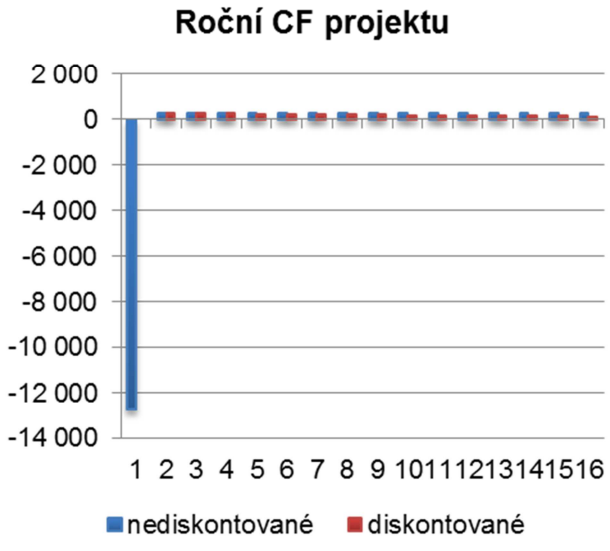


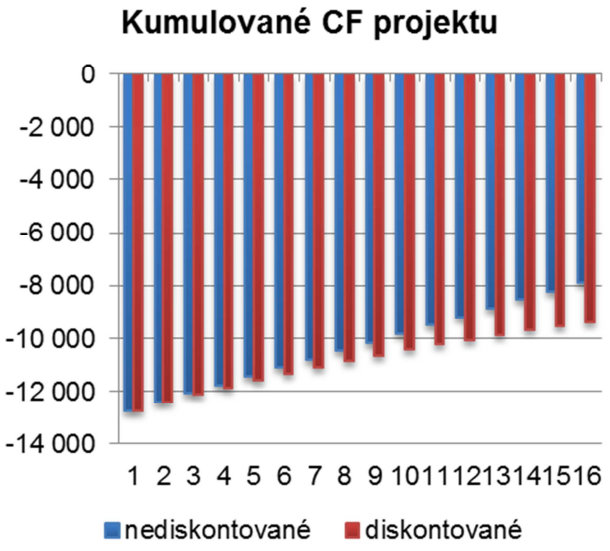


Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			12 703	-12 703		-12 703	-12 703	0
1	2014	1 285	964	0	321	306	-12 382	-12 397	0
2	2015	1 285	964	0	321	292	-12 060	-12 105	0
3	2016	1 285	964	0	321	278	-11 739	-11 828	0
4	2017	1 285	964	0	321	264	-11 417	-11 563	0
5	2018	1 285	964	0	321	252	-11 096	-11 311	0
6	2019	1 285	964	0	321	240	-10 775	-11 072	0
7	2020	1 285	964	0	321	228	-10 453	-10 843	0
8	2021	1 285	964	0	321	218	-10 132	-10 626	0
9	2022	1 285	964	0	321	207	-9 810	-10 419	0
10	2023	1 285	964	0	321	197	-9 489	-10 221	0
11	2024	1 285	964	0	321	188	-9 168	-10 033	0
12	2025	1 285	964	0	321	179	-8 846	-9 854	0
13	2026	1 285	964	0	321	170	-8 525	-9 684	0
14	2027	1 285	964	0	321	162	-8 203	-9 522	0
15	2028	1 285	964	0	321	155	-7 882	-9 367	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-9 367**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-10,2**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**39,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

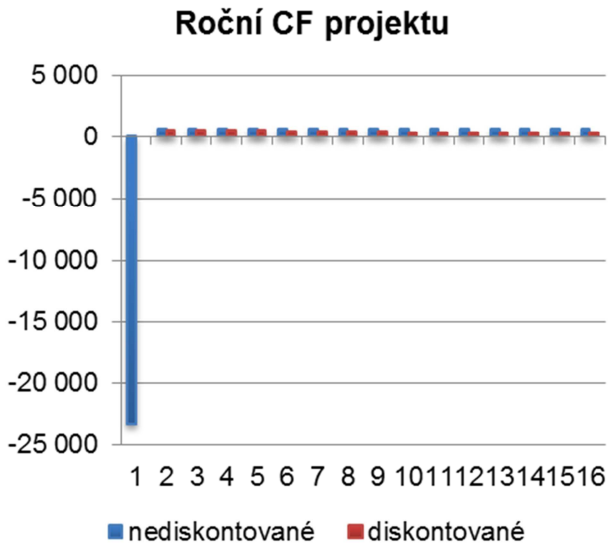


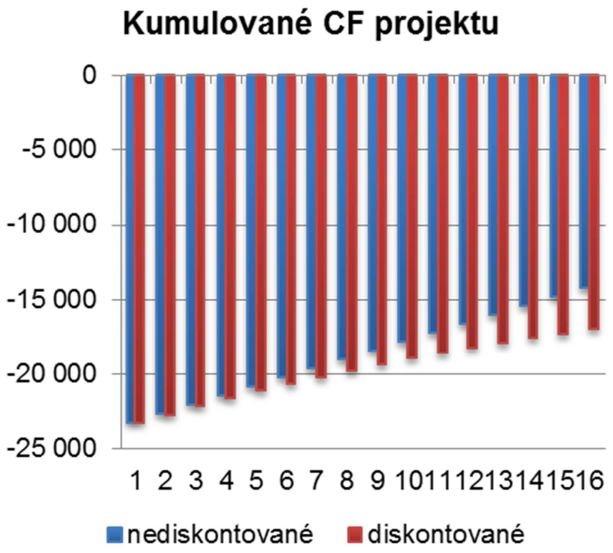


Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			23 288	-23 288		-23 288	-23 288	0
1	2014	1 285	680	0	605	576	-22 682	-22 711	0
2	2015	1 285	680	0	605	549	-22 077	-22 162	0
3	2016	1 285	680	0	605	523	-21 472	-21 639	0
4	2017	1 285	680	0	605	498	-20 867	-21 141	0
5	2018	1 285	680	0	605	474	-20 261	-20 667	0
6	2019	1 285	680	0	605	452	-19 656	-20 216	0
7	2020	1 285	680	0	605	430	-19 051	-19 785	0
8	2021	1 285	680	0	605	410	-18 446	-19 376	0
9	2022	1 285	680	0	605	390	-17 841	-18 986	0
10	2023	1 285	680	0	605	372	-17 235	-18 614	0
11	2024	1 285	680	0	605	354	-16 630	-18 260	0
12	2025	1 285	680	0	605	337	-16 025	-17 923	0
13	2026	1 285	680	0	605	321	-15 420	-17 602	0
14	2027	1 285	680	0	605	306	-14 814	-17 297	0
15	2028	1 285	680	0	605	291	-14 209	-17 006	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-17 006**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-10,0**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**38,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

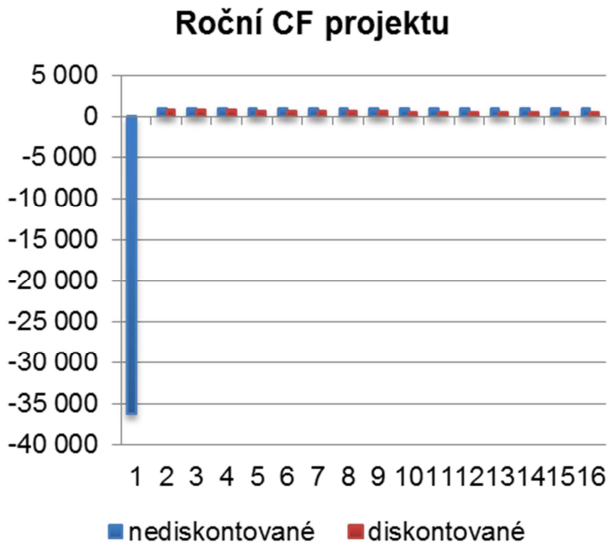


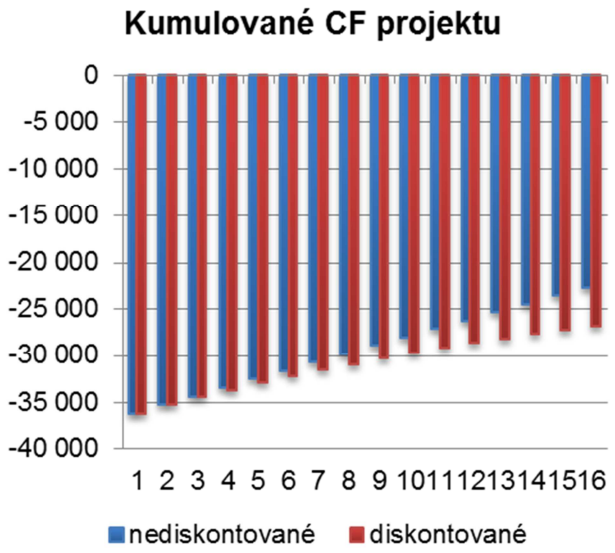


Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			36 184	-36 184		-36 184	-36 184	0
1	2014	1 285	387	0	898	855	-35 286	-35 329	0
2	2015	1 285	387	0	898	814	-34 388	-34 515	0
3	2016	1 285	387	0	898	775	-33 491	-33 739	0
4	2017	1 285	387	0	898	739	-32 593	-33 001	0
5	2018	1 285	387	0	898	703	-31 695	-32 297	0
6	2019	1 285	387	0	898	670	-30 798	-31 627	0
7	2020	1 285	387	0	898	638	-29 900	-30 989	0
8	2021	1 285	387	0	898	608	-29 002	-30 382	0
9	2022	1 285	387	0	898	579	-28 105	-29 803	0
10	2023	1 285	387	0	898	551	-27 207	-29 252	0
11	2024	1 285	387	0	898	525	-26 309	-28 727	0
12	2025	1 285	387	0	898	500	-25 412	-28 227	0
13	2026	1 285	387	0	898	476	-24 514	-27 751	0
14	2027	1 285	387	0	898	453	-23 616	-27 298	0
15	2028	1 285	387	0	898	432	-22 719	-26 866	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-26 866**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-10,4**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**40,3**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

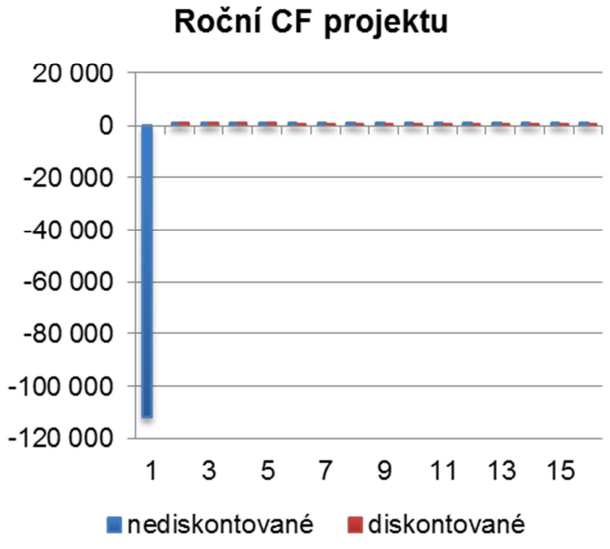


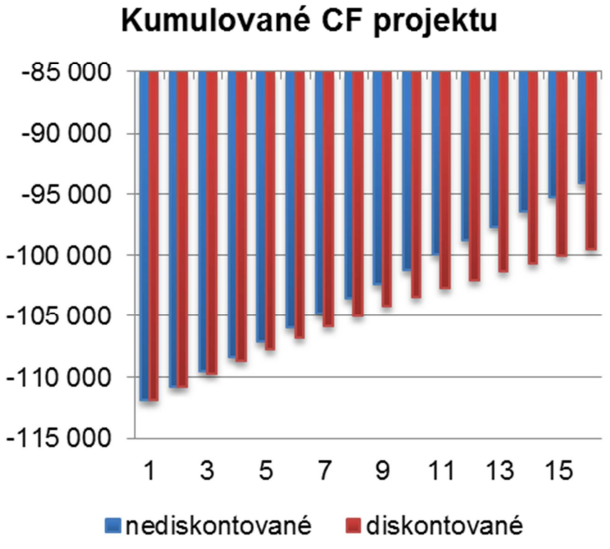


Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			111 875	-111 875		-111 875	-111 875	0
1	2014	1 285	93	0	1 192	1 135	-110 683	-110 740	0
2	2015	1 285	93	0	1 192	1 081	-109 491	-109 659	0
3	2016	1 285	93	0	1 192	1 029	-108 300	-108 630	0
4	2017	1 285	93	0	1 192	980	-107 108	-107 649	0
5	2018	1 285	93	0	1 192	934	-105 916	-106 715	0
6	2019	1 285	93	0	1 192	889	-104 724	-105 826	0
7	2020	1 285	93	0	1 192	847	-103 533	-104 979	0
8	2021	1 285	93	0	1 192	807	-102 341	-104 172	0
9	2022	1 285	93	0	1 192	768	-101 149	-103 404	0
10	2023	1 285	93	0	1 192	732	-99 957	-102 672	0
11	2024	1 285	93	0	1 192	697	-98 766	-101 976	0
12	2025	1 285	93	0	1 192	664	-97 574	-101 312	0
13	2026	1 285	93	0	1 192	632	-96 382	-100 680	0
14	2027	1 285	93	0	1 192	602	-95 190	-100 078	0
15	2028	1 285	93	0	1 192	573	-93 998	-99 505	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-99 505**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-17,3**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**93,9**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**



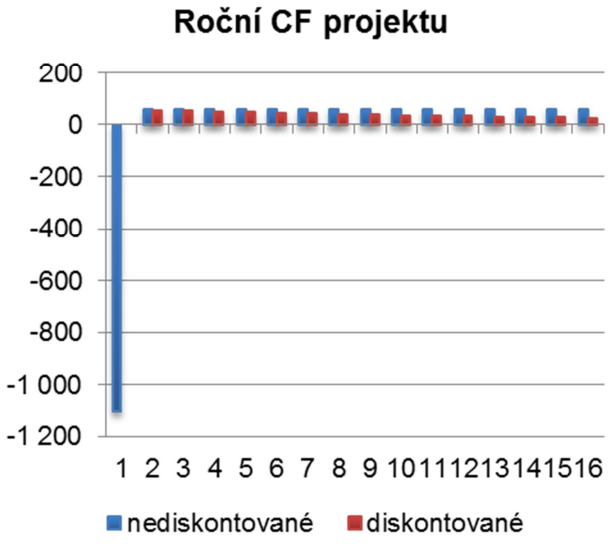


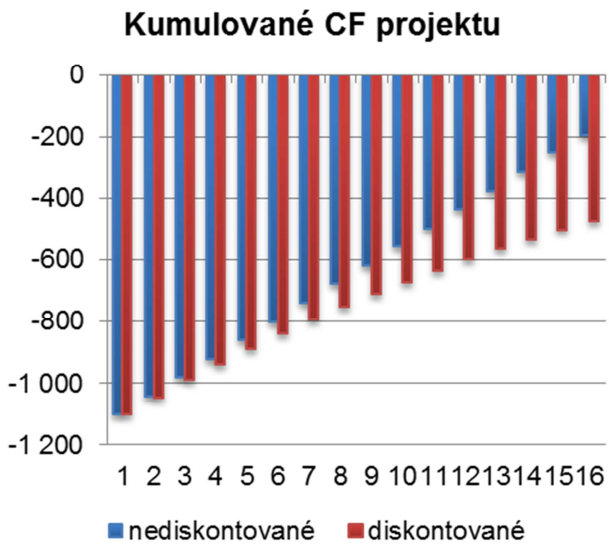
6.3.2 Ekonomické hodnocení varianty – Zemní zásobník – Vytápění a příprava TV

Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba				5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			1 103	-1 103		-1 103	-1 103	0
1	2014	1 285	1 224	0	61	58	-1 042	-1 045	0
2	2015	1 285	1 224	0	61	55	-981	-990	0
3	2016	1 285	1 224	0	61	52	-921	-937	0
4	2017	1 285	1 224	0	61	50	-860	-888	0
5	2018	1 285	1 224	0	61	48	-799	-840	0
6	2019	1 285	1 224	0	61	45	-739	-795	0
7	2020	1 285	1 224	0	61	43	-678	-752	0
8	2021	1 285	1 224	0	61	41	-617	-711	0
9	2022	1 285	1 224	0	61	39	-557	-672	0
10	2023	1 285	1 224	0	61	37	-496	-634	0
11	2024	1 285	1 224	0	61	35	-436	-599	0
12	2025	1 285	1 224	0	61	34	-375	-565	0
13	2026	1 285	1 224	0	61	32	-314	-533	0
14	2027	1 285	1 224	0	61	31	-254	-502	0
15	2028	1 285	1 224	0	61	29	-193	-473	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-473**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-2,3**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**18,2**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

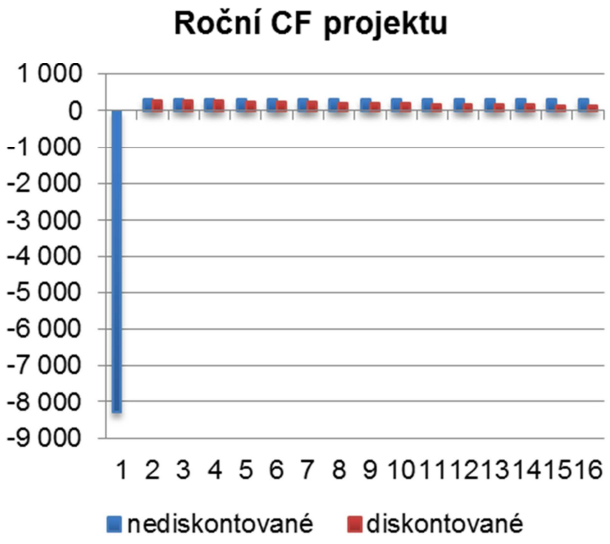


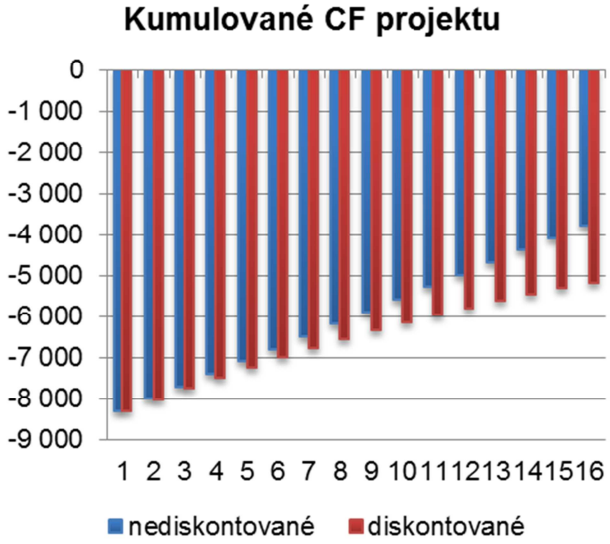


Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			8 286	-8 286		-8 286	-8 286	0
1	2014	1 285	984	0	301	287	-7 984	-7 998	0
2	2015	1 285	984	0	301	273	-7 683	-7 725	0
3	2016	1 285	984	0	301	260	-7 381	-7 465	0
4	2017	1 285	984	0	301	248	-7 080	-7 217	0
5	2018	1 285	984	0	301	236	-6 779	-6 981	0
6	2019	1 285	984	0	301	225	-6 477	-6 756	0
7	2020	1 285	984	0	301	214	-6 176	-6 542	0
8	2021	1 285	984	0	301	204	-5 875	-6 338	0
9	2022	1 285	984	0	301	194	-5 573	-6 144	0
10	2023	1 285	984	0	301	185	-5 272	-5 959	0
11	2024	1 285	984	0	301	176	-4 971	-5 782	0
12	2025	1 285	984	0	301	168	-4 669	-5 615	0
13	2026	1 285	984	0	301	160	-4 368	-5 455	0
14	2027	1 285	984	0	301	152	-4 067	-5 303	0
15	2028	1 285	984	0	301	145	-3 765	-5 158	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-5 158**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-6,8**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**27,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

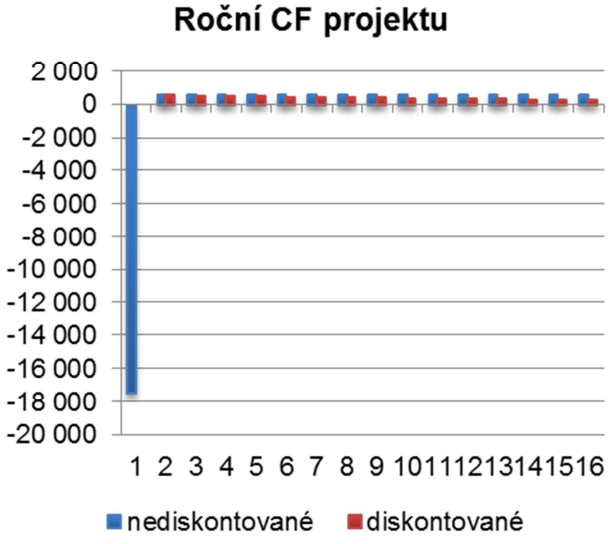


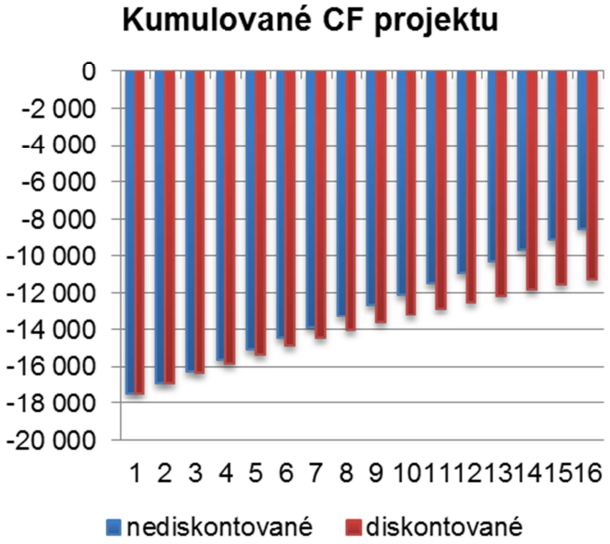


Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			17 435	-17 435		-17 435	-17 435	0
1	2014	1 285	688	0	597	568	-16 839	-16 867	0
2	2015	1 285	688	0	597	541	-16 242	-16 326	0
3	2016	1 285	688	0	597	516	-15 645	-15 810	0
4	2017	1 285	688	0	597	491	-15 048	-15 319	0
5	2018	1 285	688	0	597	468	-14 452	-14 852	0
6	2019	1 285	688	0	597	445	-13 855	-14 406	0
7	2020	1 285	688	0	597	424	-13 258	-13 982	0
8	2021	1 285	688	0	597	404	-12 661	-13 578	0
9	2022	1 285	688	0	597	385	-12 065	-13 194	0
10	2023	1 285	688	0	597	366	-11 468	-12 827	0
11	2024	1 285	688	0	597	349	-10 871	-12 478	0
12	2025	1 285	688	0	597	332	-10 274	-12 146	0
13	2026	1 285	688	0	597	316	-9 677	-11 830	0
14	2027	1 285	688	0	597	301	-9 081	-11 528	0
15	2028	1 285	688	0	597	287	-8 484	-11 241	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-11 241**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-7,4**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**29,2**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

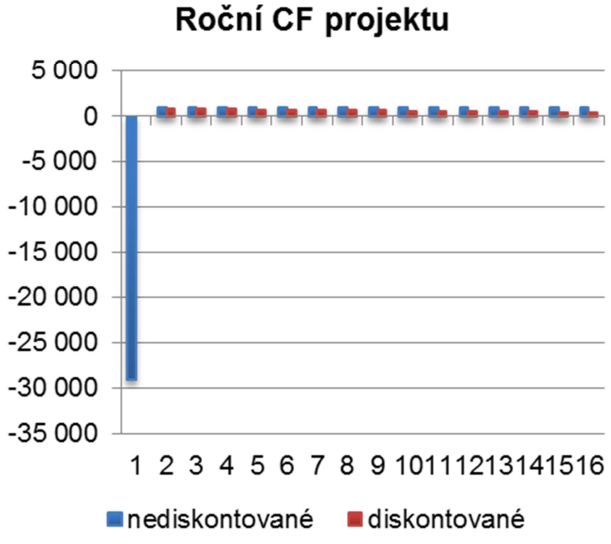


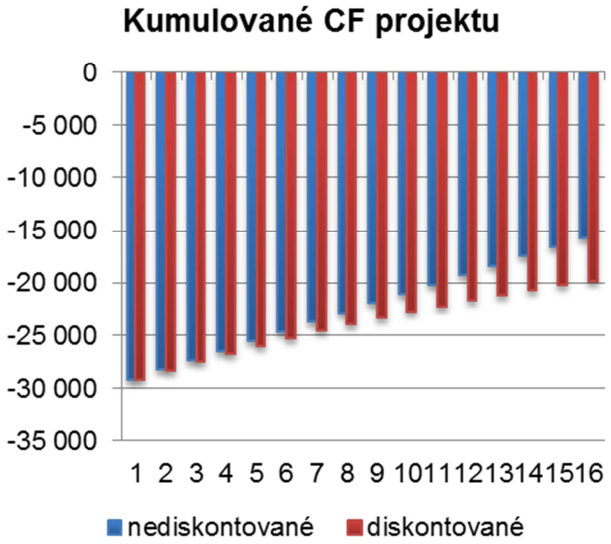


Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			29 117	-29 117		-29 117	-29 117	0
1	2014	1 285	385	0	900	857	-28 217	-28 260	0
2	2015	1 285	385	0	900	817	-27 317	-27 443	0
3	2016	1 285	385	0	900	778	-26 417	-26 666	0
4	2017	1 285	385	0	900	741	-25 516	-25 925	0
5	2018	1 285	385	0	900	705	-24 616	-25 220	0
6	2019	1 285	385	0	900	672	-23 716	-24 548	0
7	2020	1 285	385	0	900	640	-22 816	-23 908	0
8	2021	1 285	385	0	900	609	-21 915	-23 299	0
9	2022	1 285	385	0	900	580	-21 015	-22 719	0
10	2023	1 285	385	0	900	553	-20 115	-22 166	0
11	2024	1 285	385	0	900	526	-19 215	-21 640	0
12	2025	1 285	385	0	900	501	-18 314	-21 138	0
13	2026	1 285	385	0	900	477	-17 414	-20 661	0
14	2027	1 285	385	0	900	455	-16 514	-20 206	0
15	2028	1 285	385	0	900	433	-15 614	-19 773	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-19 773**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-8,4**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**32,3**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

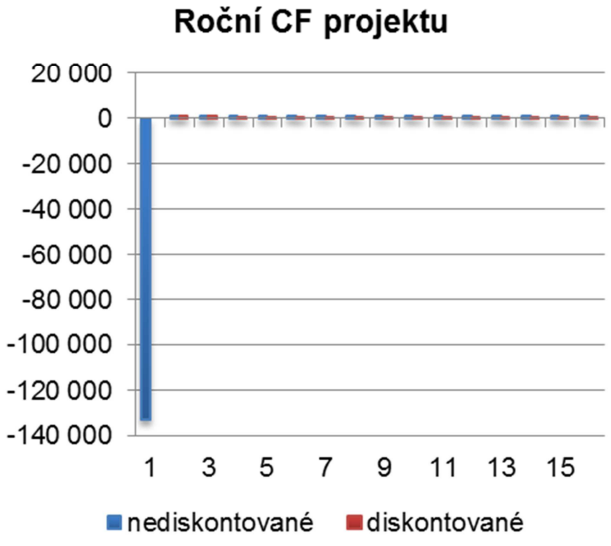


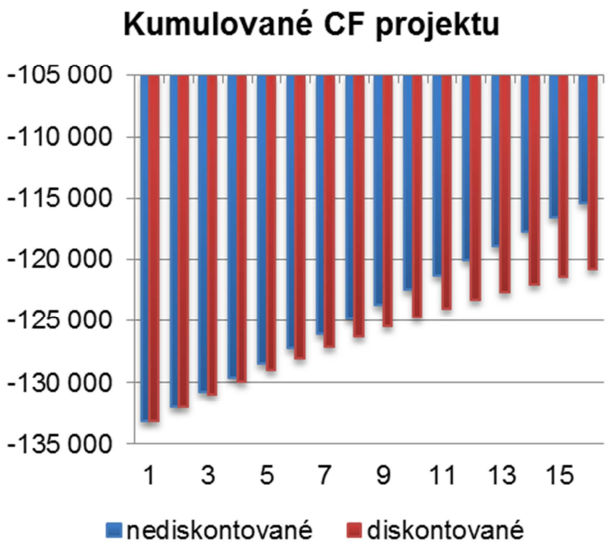


Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			133 177	-133 177		-133 177	-133 177	0
1	2014	1 285	94	0	1 191	1 135	-131 985	-132 042	0
2	2015	1 285	94	0	1 191	1 081	-130 794	-130 962	0
3	2016	1 285	94	0	1 191	1 029	-129 603	-129 932	0
4	2017	1 285	94	0	1 191	980	-128 411	-128 952	0
5	2018	1 285	94	0	1 191	933	-127 220	-128 019	0
6	2019	1 285	94	0	1 191	889	-126 029	-127 130	0
7	2020	1 285	94	0	1 191	847	-124 838	-126 283	0
8	2021	1 285	94	0	1 191	806	-123 646	-125 477	0
9	2022	1 285	94	0	1 191	768	-122 455	-124 709	0
10	2023	1 285	94	0	1 191	731	-121 264	-123 978	0
11	2024	1 285	94	0	1 191	697	-120 072	-123 281	0
12	2025	1 285	94	0	1 191	663	-118 881	-122 618	0
13	2026	1 285	94	0	1 191	632	-117 690	-121 986	0
14	2027	1 285	94	0	1 191	602	-116 498	-121 384	0
15	2028	1 285	94	0	1 191	573	-115 307	-120 811	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-120 811**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-18,6**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**111,8**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**



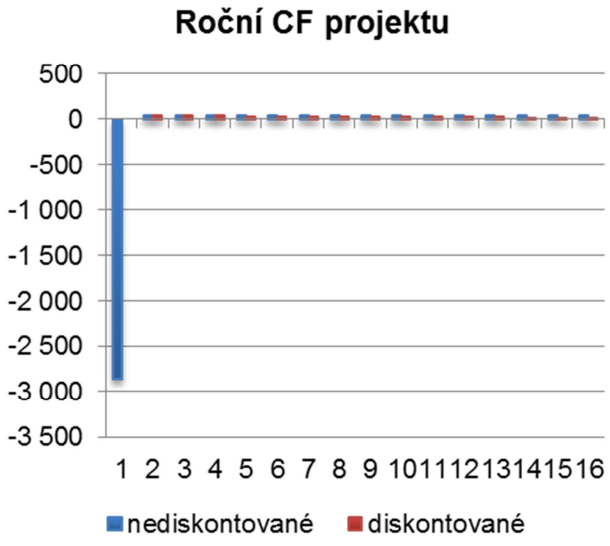


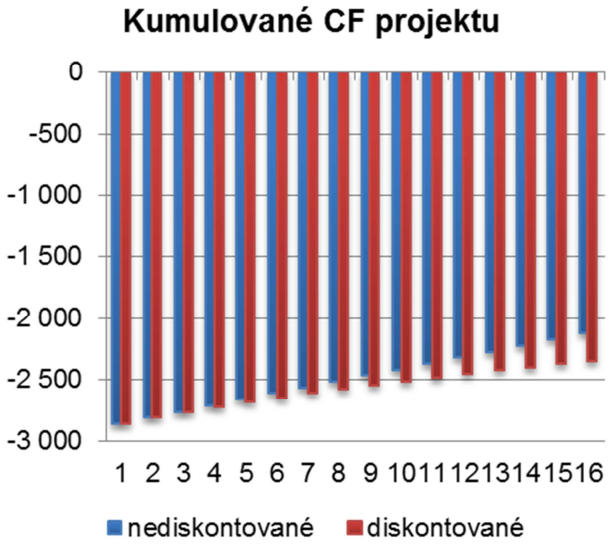
6.3.3 Ekonomické hodnocení Varianty – Vodní zásobník – Vytápění

Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			2 857	-2 857		-2 857	-2 857	0
1	2014	1 106	1 057	0	49	47	-2 808	-2 810	0
2	2015	1 106	1 057	0	49	44	-2 759	-2 766	0
3	2016	1 106	1 057	0	49	42	-2 710	-2 724	0
4	2017	1 106	1 057	0	49	40	-2 661	-2 683	0
5	2018	1 106	1 057	0	49	38	-2 612	-2 645	0
6	2019	1 106	1 057	0	49	37	-2 563	-2 608	0
7	2020	1 106	1 057	0	49	35	-2 514	-2 574	0
8	2021	1 106	1 057	0	49	33	-2 465	-2 541	0
9	2022	1 106	1 057	0	49	32	-2 417	-2 509	0
10	2023	1 106	1 057	0	49	30	-2 368	-2 479	0
11	2024	1 106	1 057	0	49	29	-2 319	-2 450	0
12	2025	1 106	1 057	0	49	27	-2 270	-2 423	0
13	2026	1 106	1 057	0	49	26	-2 221	-2 397	0
14	2027	1 106	1 057	0	49	25	-2 172	-2 373	0
15	2028	1 106	1 057	0	49	24	-2 123	-2 349	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-2 349**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-13,6**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**58,4**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

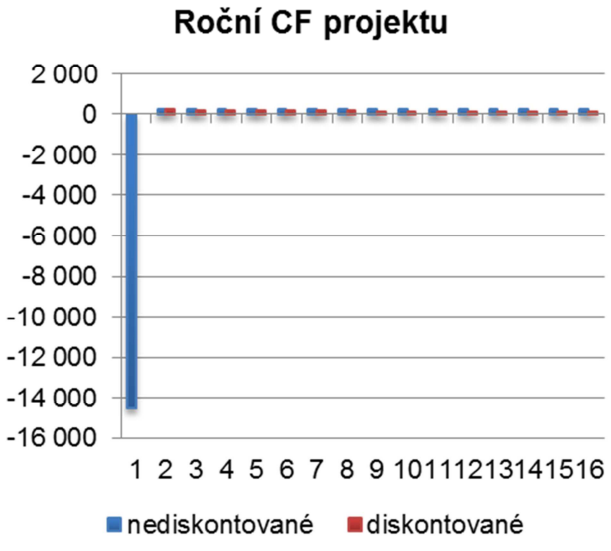


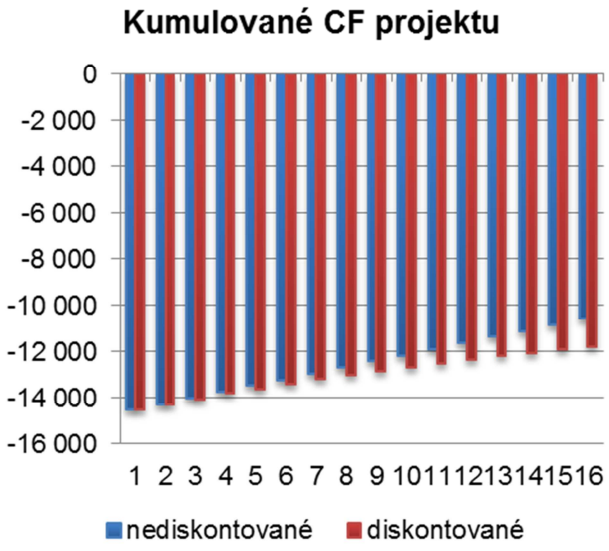


Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			14 509	-14 509		-14 509	-14 509	0
1	2014	1 106	842	0	264	251	-14 245	-14 258	0
2	2015	1 106	842	0	264	239	-13 981	-14 018	0
3	2016	1 106	842	0	264	228	-13 718	-13 791	0
4	2017	1 106	842	0	264	217	-13 454	-13 574	0
5	2018	1 106	842	0	264	207	-13 190	-13 367	0
6	2019	1 106	842	0	264	197	-12 926	-13 170	0
7	2020	1 106	842	0	264	187	-12 663	-12 983	0
8	2021	1 106	842	0	264	179	-12 399	-12 804	0
9	2022	1 106	842	0	264	170	-12 135	-12 634	0
10	2023	1 106	842	0	264	162	-11 871	-12 472	0
11	2024	1 106	842	0	264	154	-11 608	-12 318	0
12	2025	1 106	842	0	264	147	-11 344	-12 171	0
13	2026	1 106	842	0	264	140	-11 080	-12 031	0
14	2027	1 106	842	0	264	133	-10 816	-11 898	0
15	2028	1 106	842	0	264	127	-10 553	-11 771	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-11 771**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-13,1**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**55,0**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

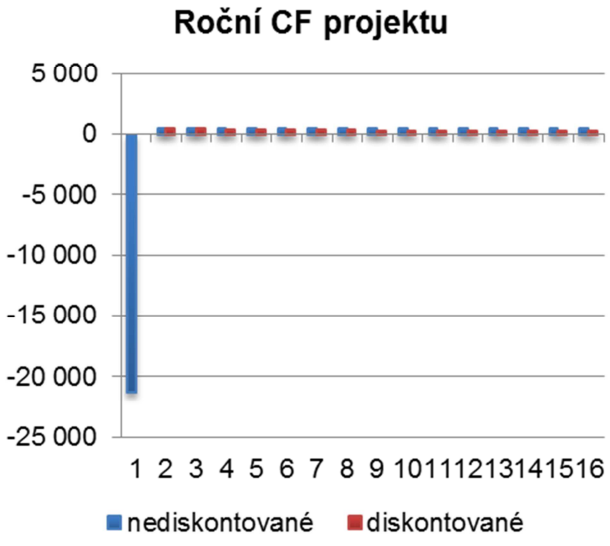


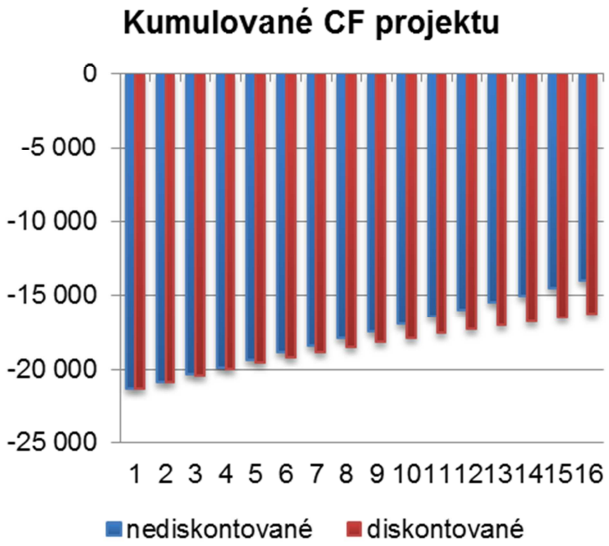


Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			21 325	-21 325		-21 325	-21 325	0
1	2014	1 106	621	0	485	462	-20 840	-20 863	0
2	2015	1 106	621	0	485	440	-20 354	-20 423	0
3	2016	1 106	621	0	485	419	-19 869	-20 003	0
4	2017	1 106	621	0	485	399	-19 384	-19 604	0
5	2018	1 106	621	0	485	380	-18 898	-19 224	0
6	2019	1 106	621	0	485	362	-18 413	-18 862	0
7	2020	1 106	621	0	485	345	-17 928	-18 517	0
8	2021	1 106	621	0	485	328	-17 442	-18 188	0
9	2022	1 106	621	0	485	313	-16 957	-17 875	0
10	2023	1 106	621	0	485	298	-16 472	-17 578	0
11	2024	1 106	621	0	485	284	-15 987	-17 294	0
12	2025	1 106	621	0	485	270	-15 501	-17 024	0
13	2026	1 106	621	0	485	257	-15 016	-16 766	0
14	2027	1 106	621	0	485	245	-14 531	-16 521	0
15	2028	1 106	621	0	485	233	-14 045	-16 288	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-16 288**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-11,2**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**43,9**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

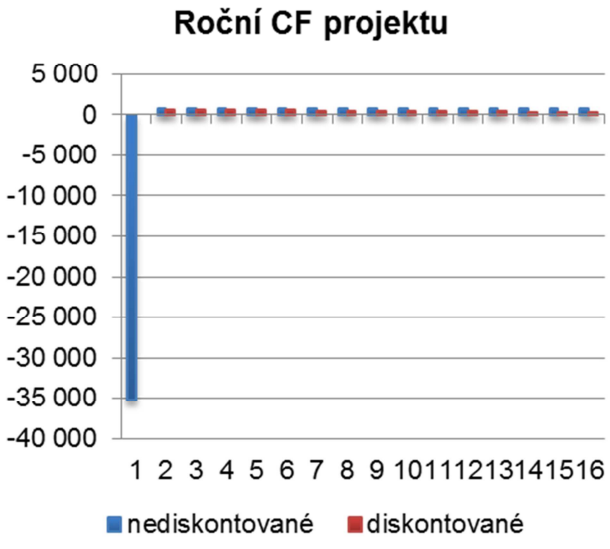


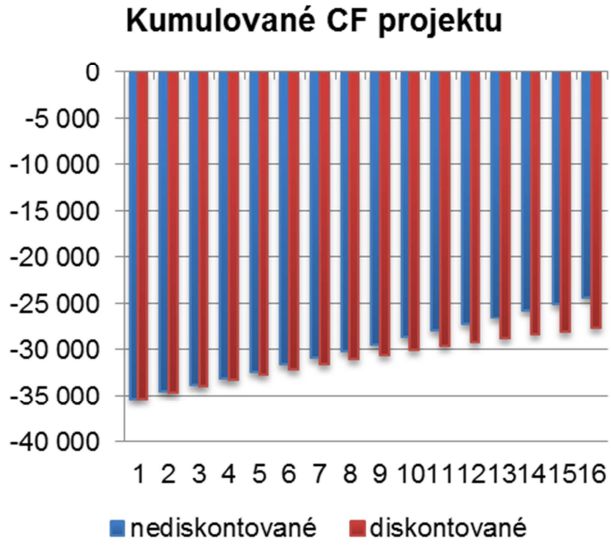


Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			35 178	-35 178		-35 178	-35 178	0
1	2014	1 106	379	0	727	692	-34 451	-34 485	0
2	2015	1 106	379	0	727	659	-33 724	-33 826	0
3	2016	1 106	379	0	727	628	-32 997	-33 198	0
4	2017	1 106	379	0	727	598	-32 270	-32 600	0
5	2018	1 106	379	0	727	569	-31 543	-32 031	0
6	2019	1 106	379	0	727	542	-30 817	-31 488	0
7	2020	1 106	379	0	727	517	-30 090	-30 972	0
8	2021	1 106	379	0	727	492	-29 363	-30 480	0
9	2022	1 106	379	0	727	469	-28 636	-30 011	0
10	2023	1 106	379	0	727	446	-27 909	-29 565	0
11	2024	1 106	379	0	727	425	-27 182	-29 140	0
12	2025	1 106	379	0	727	405	-26 456	-28 735	0
13	2026	1 106	379	0	727	385	-25 729	-28 350	0
14	2027	1 106	379	0	727	367	-25 002	-27 983	0
15	2028	1 106	379	0	727	350	-24 275	-27 633	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-27 633**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-12,0**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**48,4**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

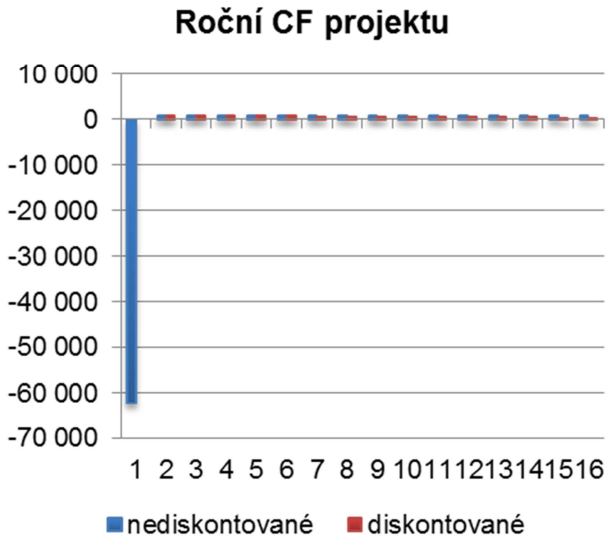


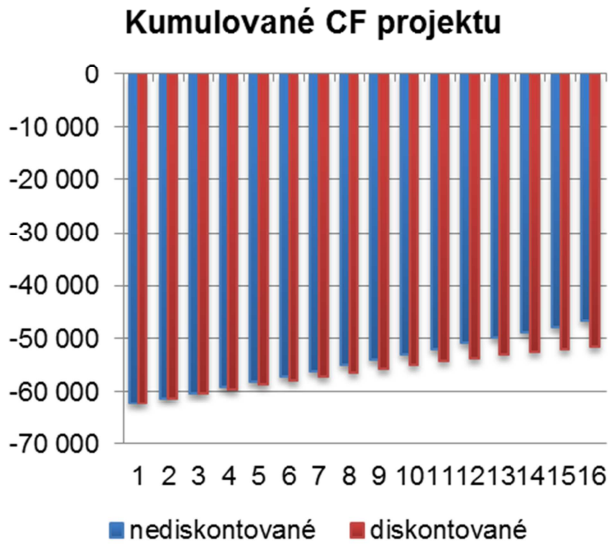


Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			62 188	-62 188		-62 188	-62 188	0
1	2014	1 106	76	0	1 030	981	-61 157	-61 206	0
2	2015	1 106	76	0	1 030	934	-60 127	-60 272	0
3	2016	1 106	76	0	1 030	890	-59 097	-59 382	0
4	2017	1 106	76	0	1 030	848	-58 067	-58 535	0
5	2018	1 106	76	0	1 030	807	-57 037	-57 727	0
6	2019	1 106	76	0	1 030	769	-56 007	-56 959	0
7	2020	1 106	76	0	1 030	732	-54 976	-56 227	0
8	2021	1 106	76	0	1 030	697	-53 946	-55 529	0
9	2022	1 106	76	0	1 030	664	-52 916	-54 865	0
10	2023	1 106	76	0	1 030	632	-51 886	-54 233	0
11	2024	1 106	76	0	1 030	602	-50 856	-53 631	0
12	2025	1 106	76	0	1 030	574	-49 826	-53 057	0
13	2026	1 106	76	0	1 030	546	-48 795	-52 511	0
14	2027	1 106	76	0	1 030	520	-47 765	-51 990	0
15	2028	1 106	76	0	1 030	496	-46 735	-51 495	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-51 495**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-13,9**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**60,4**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**



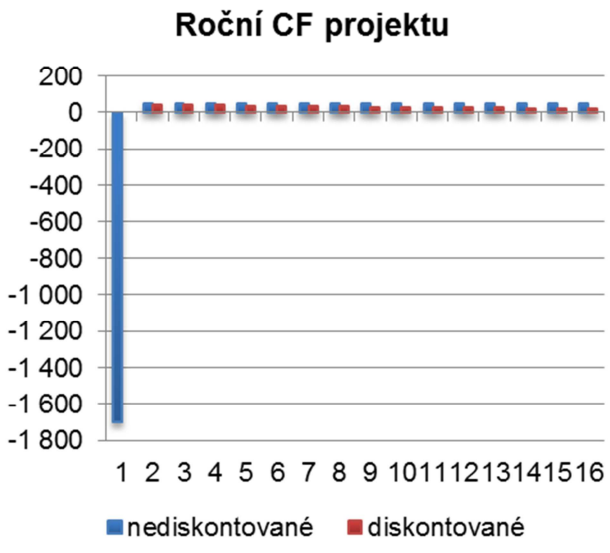


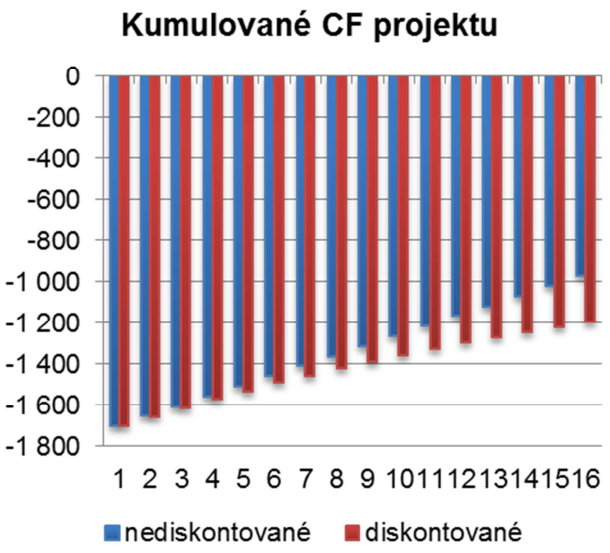
6.3.4 Ekonomické hodnocení Varianty – Zemní zásobník – Vytápění

Varianta se zemním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			1 700	-1 700		-1 700	-1 700	0
1	2014	1 043	995	0	49	46	-1 651	-1 653	0
2	2015	1 043	995	0	49	44	-1 602	-1 609	0
3	2016	1 043	995	0	49	42	-1 554	-1 567	0
4	2017	1 043	995	0	49	40	-1 505	-1 527	0
5	2018	1 043	995	0	49	38	-1 456	-1 489	0
6	2019	1 043	995	0	49	36	-1 407	-1 452	0
7	2020	1 043	995	0	49	35	-1 359	-1 418	0
8	2021	1 043	995	0	49	33	-1 310	-1 385	0
9	2022	1 043	995	0	49	31	-1 261	-1 353	0
10	2023	1 043	995	0	49	30	-1 213	-1 324	0
11	2024	1 043	995	0	49	28	-1 164	-1 295	0
12	2025	1 043	995	0	49	27	-1 115	-1 268	0
13	2026	1 043	995	0	49	26	-1 066	-1 242	0
14	2027	1 043	995	0	49	25	-1 018	-1 218	0
15	2028	1 043	995	0	49	23	-969	-1 194	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-1 194**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-9,1**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**34,9**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

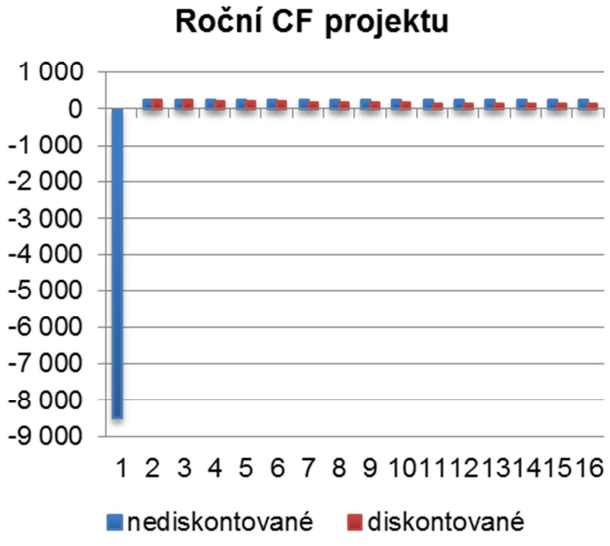


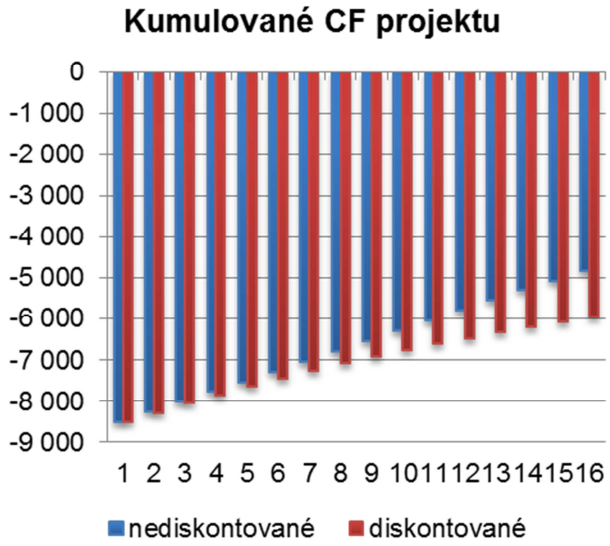


Varianta se zemním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			8 511	-8 511		-8 511	-8 511	0
1	2014	1 043	797	0	247	235	-8 265	-8 276	0
2	2015	1 043	797	0	247	224	-8 018	-8 053	0
3	2016	1 043	797	0	247	213	-7 772	-7 840	0
4	2017	1 043	797	0	247	203	-7 525	-7 637	0
5	2018	1 043	797	0	247	193	-7 279	-7 444	0
6	2019	1 043	797	0	247	184	-7 032	-7 260	0
7	2020	1 043	797	0	247	175	-6 786	-7 085	0
8	2021	1 043	797	0	247	167	-6 539	-6 918	0
9	2022	1 043	797	0	247	159	-6 293	-6 759	0
10	2023	1 043	797	0	247	151	-6 046	-6 608	0
11	2024	1 043	797	0	247	144	-5 800	-6 464	0
12	2025	1 043	797	0	247	137	-5 553	-6 326	0
13	2026	1 043	797	0	247	131	-5 307	-6 196	0
14	2027	1 043	797	0	247	125	-5 060	-6 071	0
15	2028	1 043	797	0	247	119	-4 814	-5 953	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-5 953**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-9,0**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**34,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

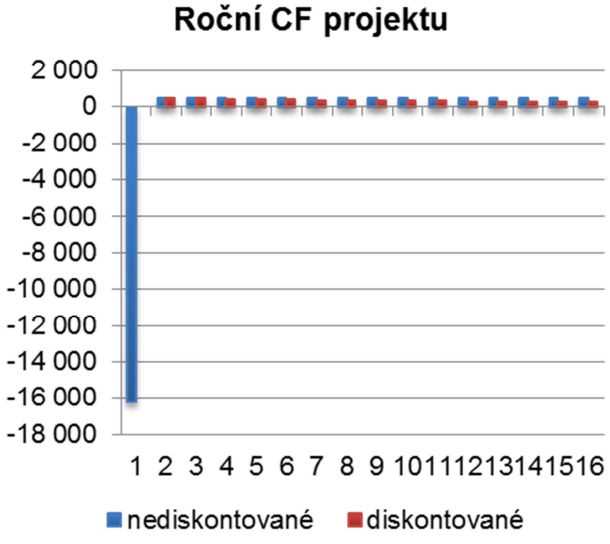


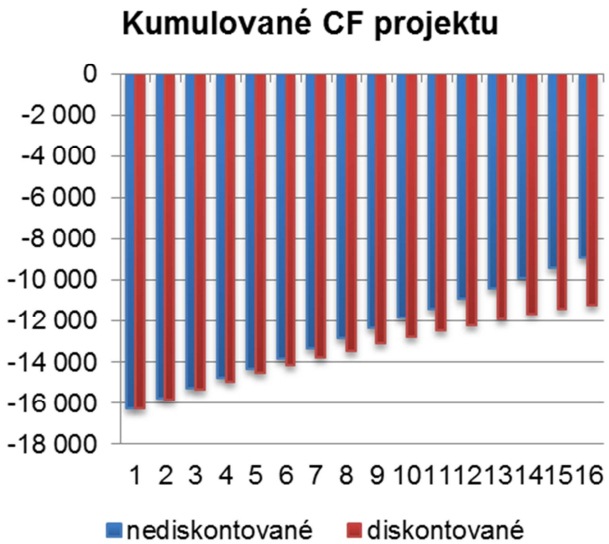


Varianta se zemním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			16 263	-16 263		-16 263	-16 263	0
1	2014	1 043	554	0	490	466	-15 773	-15 797	0
2	2015	1 043	554	0	490	444	-15 284	-15 352	0
3	2016	1 043	554	0	490	423	-14 794	-14 929	0
4	2017	1 043	554	0	490	403	-14 304	-14 527	0
5	2018	1 043	554	0	490	384	-13 815	-14 143	0
6	2019	1 043	554	0	490	365	-13 325	-13 778	0
7	2020	1 043	554	0	490	348	-12 835	-13 430	0
8	2021	1 043	554	0	490	331	-12 346	-13 098	0
9	2022	1 043	554	0	490	316	-11 856	-12 783	0
10	2023	1 043	554	0	490	301	-11 366	-12 482	0
11	2024	1 043	554	0	490	286	-10 877	-12 196	0
12	2025	1 043	554	0	490	273	-10 387	-11 923	0
13	2026	1 043	554	0	490	260	-9 897	-11 663	0
14	2027	1 043	554	0	490	247	-9 408	-11 416	0
15	2028	1 043	554	0	490	236	-8 918	-11 180	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-11 180**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-8,6**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**33,2**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

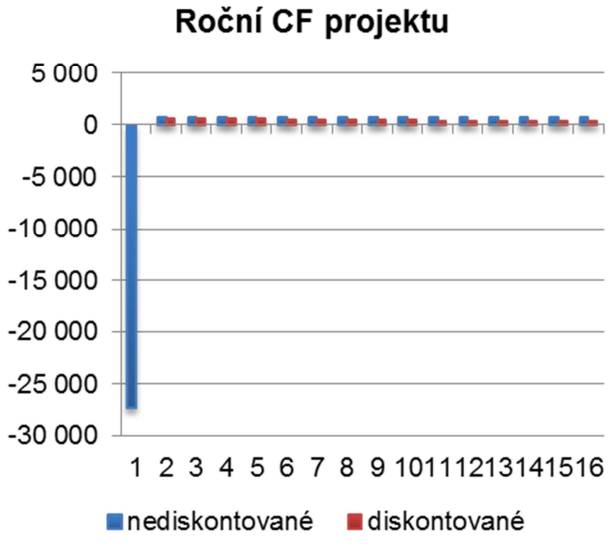


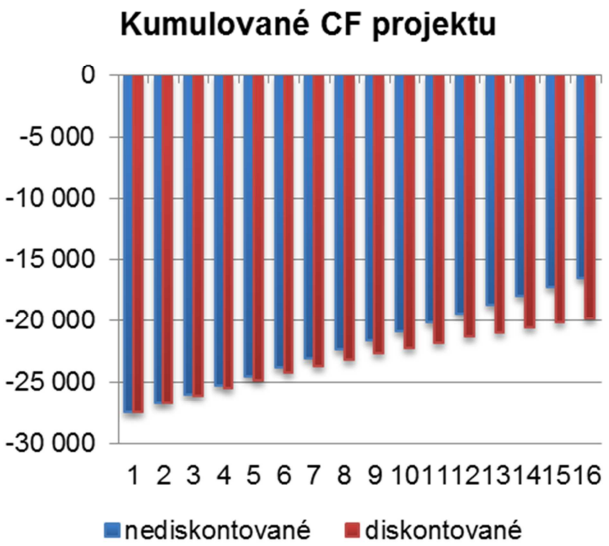


Varianta se zemním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			27 389	-27 389		-27 389	-27 389	0
1	2014	1 043	315	0	728	693	-26 661	-26 695	0
2	2015	1 043	315	0	728	660	-25 933	-26 035	0
3	2016	1 043	315	0	728	629	-25 205	-25 406	0
4	2017	1 043	315	0	728	599	-24 477	-24 807	0
5	2018	1 043	315	0	728	570	-23 749	-24 237	0
6	2019	1 043	315	0	728	543	-23 021	-23 694	0
7	2020	1 043	315	0	728	517	-22 293	-23 176	0
8	2021	1 043	315	0	728	493	-21 565	-22 684	0
9	2022	1 043	315	0	728	469	-20 837	-22 214	0
10	2023	1 043	315	0	728	447	-20 109	-21 768	0
11	2024	1 043	315	0	728	426	-19 381	-21 342	0
12	2025	1 043	315	0	728	405	-18 653	-20 937	0
13	2026	1 043	315	0	728	386	-17 925	-20 550	0
14	2027	1 043	315	0	728	368	-17 197	-20 183	0
15	2028	1 043	315	0	728	350	-16 469	-19 833	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-19 833**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-9,8**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**37,6**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

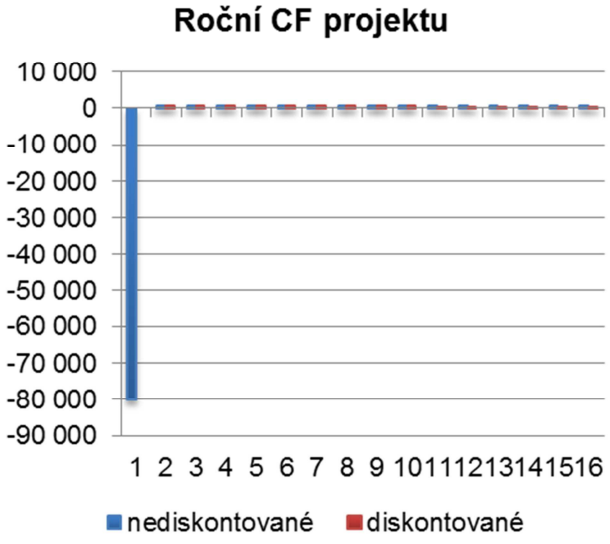


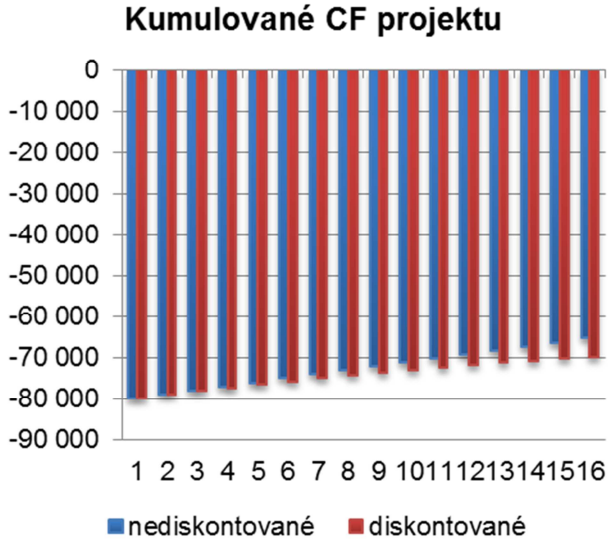


Varianta se zemním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			79 779	-79 779		-79 779	-79 779	0
1	2014	1 043	76	0	968	921	-78 811	-78 857	0
2	2015	1 043	76	0	968	878	-77 843	-77 979	0
3	2016	1 043	76	0	968	836	-76 876	-77 144	0
4	2017	1 043	76	0	968	796	-75 908	-76 348	0
5	2018	1 043	76	0	968	758	-74 941	-75 589	0
6	2019	1 043	76	0	968	722	-73 973	-74 867	0
7	2020	1 043	76	0	968	688	-73 006	-74 180	0
8	2021	1 043	76	0	968	655	-72 038	-73 525	0
9	2022	1 043	76	0	968	624	-71 071	-72 901	0
10	2023	1 043	76	0	968	594	-70 103	-72 307	0
11	2024	1 043	76	0	968	566	-69 135	-71 742	0
12	2025	1 043	76	0	968	539	-68 168	-71 203	0
13	2026	1 043	76	0	968	513	-67 200	-70 690	0
14	2027	1 043	76	0	968	489	-66 233	-70 201	0
15	2028	1 043	76	0	968	465	-65 265	-69 736	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-69 736**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-16,3**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**82,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**



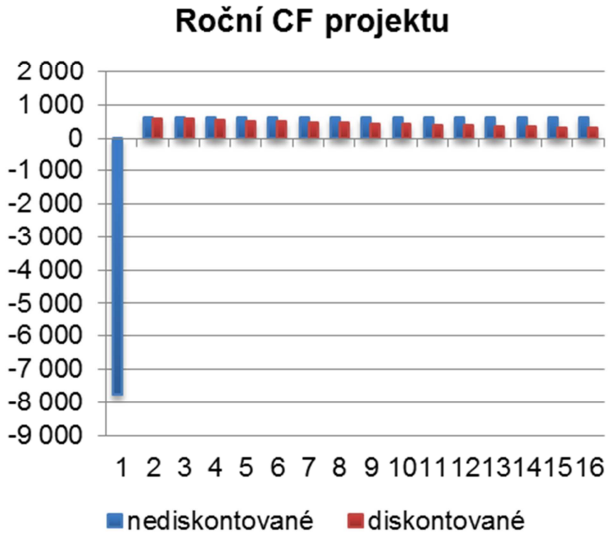


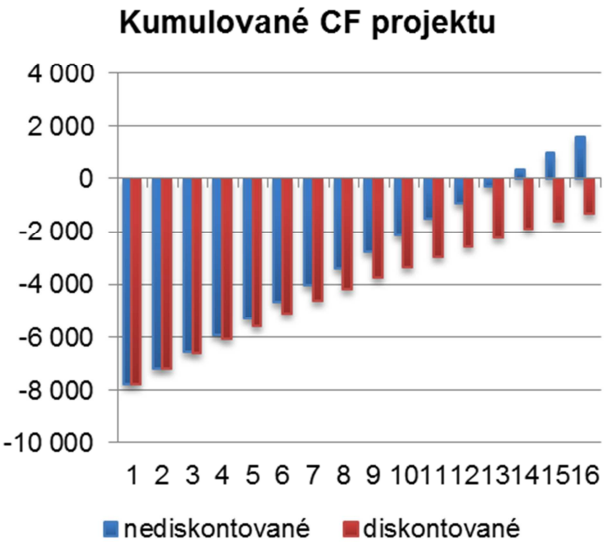
6.3.5 Ekonomické hodnocení Varianty – vodní zásobník – Vytápění – FAKTOR 10

Varianta s vodním zásobníkem 5% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			7 775	-7 775		-7 775	-7 775	0
1	2014	12 565	11 939	0	626	597	-7 149	-7 178	0
2	2015	12 565	11 939	0	626	568	-6 522	-6 610	0
3	2016	12 565	11 939	0	626	541	-5 896	-6 069	0
4	2017	12 565	11 939	0	626	515	-5 269	-5 554	0
5	2018	12 565	11 939	0	626	491	-4 643	-5 063	0
6	2019	12 565	11 939	0	626	467	-4 017	-4 596	0
7	2020	12 565	11 939	0	626	445	-3 390	-4 151	0
8	2021	12 565	11 939	0	626	424	-2 764	-3 727	0
9	2022	12 565	11 939	0	626	404	-2 138	-3 323	0
10	2023	12 565	11 939	0	626	385	-1 511	-2 938	0
11	2024	12 565	11 939	0	626	366	-885	-2 572	0
12	2025	12 565	11 939	0	626	349	-258	-2 223	0
13	2026	12 565	11 939	0	626	332	368	-1 891	0
14	2027	12 565	11 939	0	626	316	994	-1 575	0
15	2028	12 565	11 939	0	626	301	1 621	-1 273	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-1 273**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**2,5**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**12,4**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

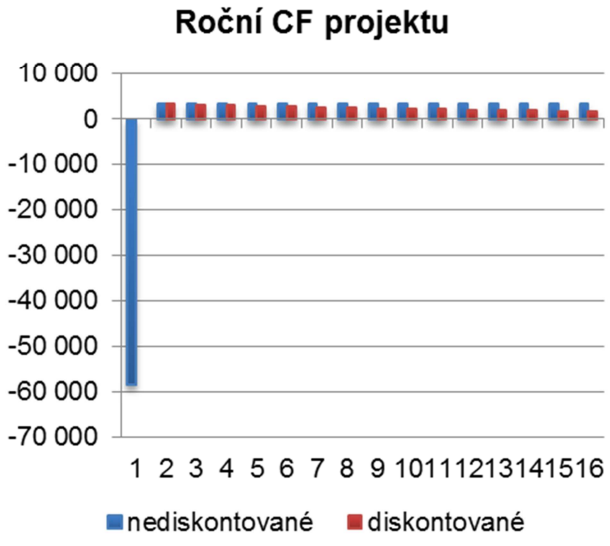


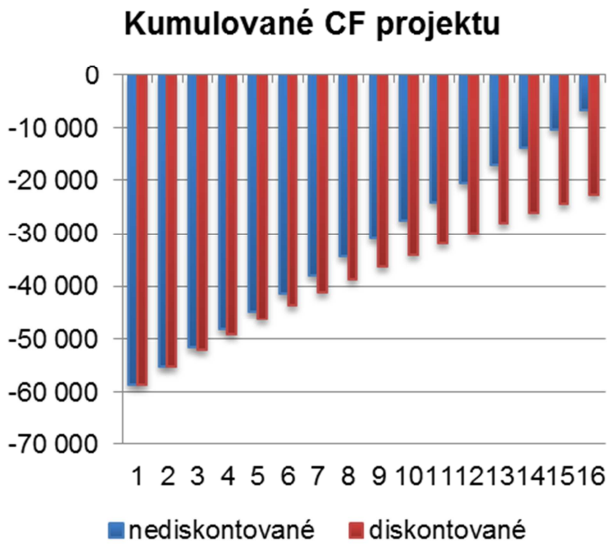


Varianta s vodním zásobníkem 25% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			58 500	-58 500		-58 500	-58 500	0
1	2014	12 565	9 111	0	3 454	3 290	-55 046	-55 210	0
2	2015	12 565	9 111	0	3 454	3 133	-51 592	-52 077	0
3	2016	12 565	9 111	0	3 454	2 984	-48 138	-49 094	0
4	2017	12 565	9 111	0	3 454	2 842	-44 684	-46 252	0
5	2018	12 565	9 111	0	3 454	2 706	-41 229	-43 545	0
6	2019	12 565	9 111	0	3 454	2 578	-37 775	-40 968	0
7	2020	12 565	9 111	0	3 454	2 455	-34 321	-38 513	0
8	2021	12 565	9 111	0	3 454	2 338	-30 867	-36 175	0
9	2022	12 565	9 111	0	3 454	2 227	-27 413	-33 949	0
10	2023	12 565	9 111	0	3 454	2 121	-23 959	-31 828	0
11	2024	12 565	9 111	0	3 454	2 020	-20 505	-29 809	0
12	2025	12 565	9 111	0	3 454	1 923	-17 051	-27 885	0
13	2026	12 565	9 111	0	3 454	1 832	-13 596	-26 053	0
14	2027	12 565	9 111	0	3 454	1 745	-10 142	-24 309	0
15	2028	12 565	9 111	0	3 454	1 661	-6 688	-22 647	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-22 647**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-1,5**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**16,9**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

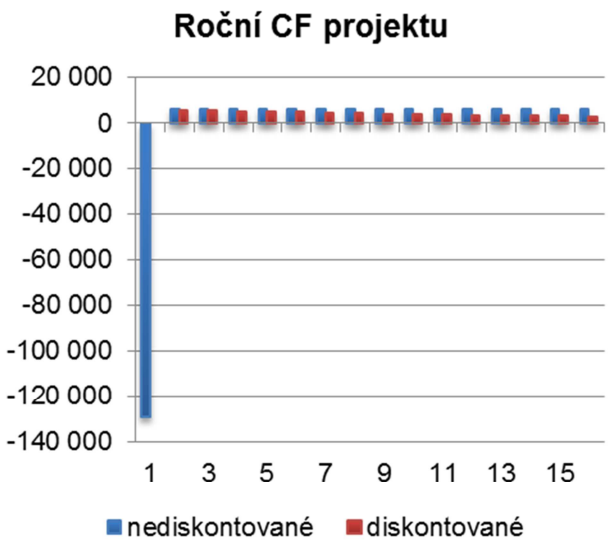


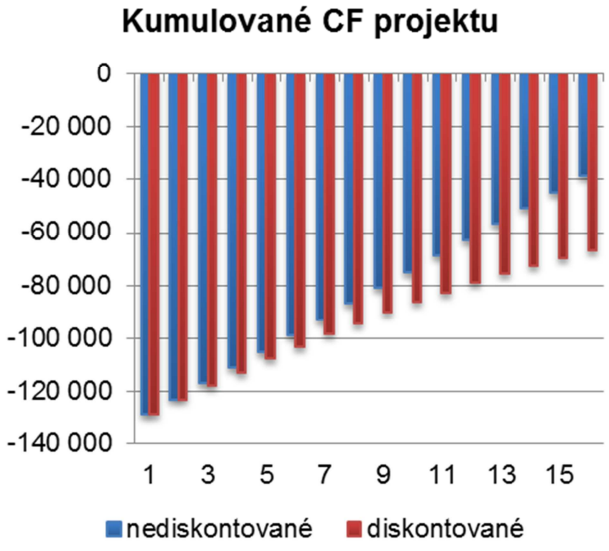


Varianta s vodním zásobníkem 50% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			129 225	-129 225		-129 225	-129 225	0
1	2014	12 565	6 546	0	6 019	5 732	-123 206	-123 493	0
2	2015	12 565	6 546	0	6 019	5 459	-117 188	-118 034	0
3	2016	12 565	6 546	0	6 019	5 199	-111 169	-112 835	0
4	2017	12 565	6 546	0	6 019	4 952	-105 151	-107 883	0
5	2018	12 565	6 546	0	6 019	4 716	-99 132	-103 168	0
6	2019	12 565	6 546	0	6 019	4 491	-93 113	-98 676	0
7	2020	12 565	6 546	0	6 019	4 277	-87 095	-94 399	0
8	2021	12 565	6 546	0	6 019	4 074	-81 076	-90 325	0
9	2022	12 565	6 546	0	6 019	3 880	-75 057	-86 446	0
10	2023	12 565	6 546	0	6 019	3 695	-69 039	-82 751	0
11	2024	12 565	6 546	0	6 019	3 519	-63 020	-79 232	0
12	2025	12 565	6 546	0	6 019	3 351	-57 002	-75 880	0
13	2026	12 565	6 546	0	6 019	3 192	-50 983	-72 689	0
14	2027	12 565	6 546	0	6 019	3 040	-44 964	-69 649	0
15	2028	12 565	6 546	0	6 019	2 895	-38 946	-66 754	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-66 754**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-4,2**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**21,5**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**

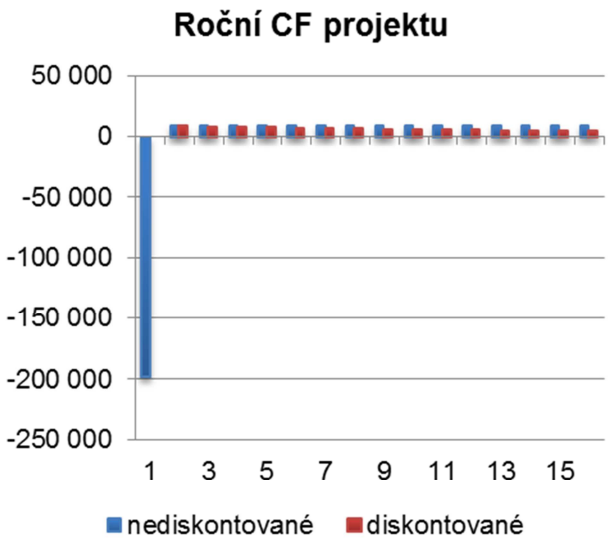


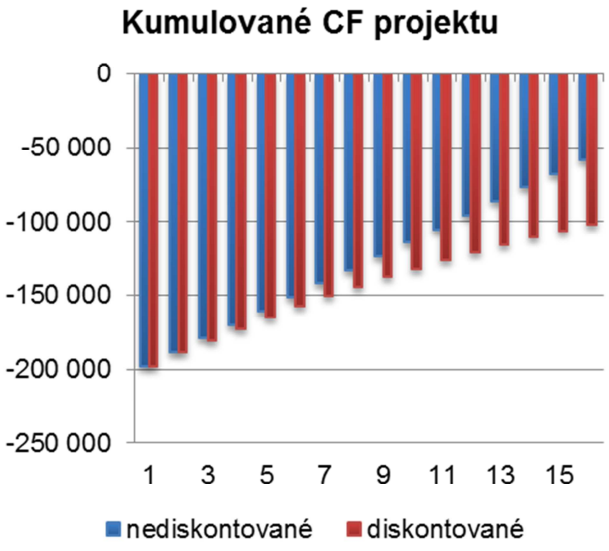


Varianta s vodním zásobníkem 75% pokrytí potřeby tepla

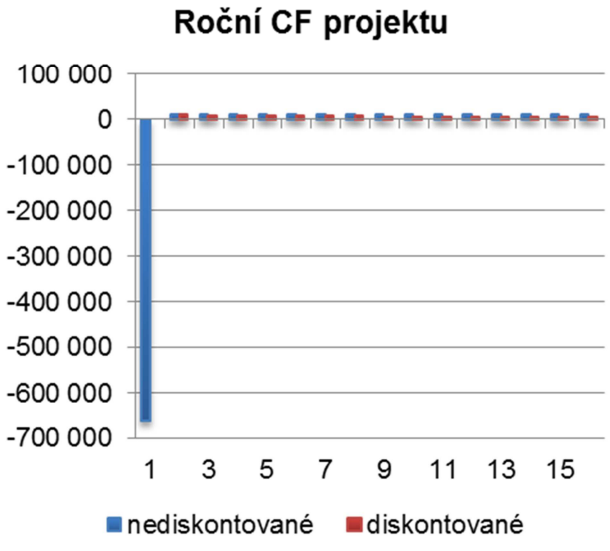
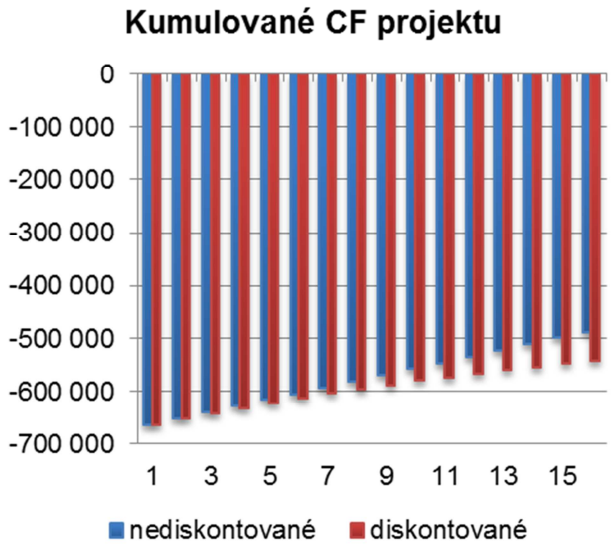
Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			197 675	-197 675		-197 675	-197 675	0
1	2014	12 565	3 283	0	9 282	8 840	-188 393	-188 835	0
2	2015	12 565	3 283	0	9 282	8 419	-179 111	-180 416	0
3	2016	12 565	3 283	0	9 282	8 018	-169 828	-172 397	0
4	2017	12 565	3 283	0	9 282	7 636	-160 546	-164 761	0
5	2018	12 565	3 283	0	9 282	7 273	-151 264	-157 488	0
6	2019	12 565	3 283	0	9 282	6 927	-141 982	-150 561	0
7	2020	12 565	3 283	0	9 282	6 597	-132 700	-143 965	0
8	2021	12 565	3 283	0	9 282	6 283	-123 417	-137 682	0
9	2022	12 565	3 283	0	9 282	5 983	-114 135	-131 699	0
10	2023	12 565	3 283	0	9 282	5 698	-104 853	-126 000	0
11	2024	12 565	3 283	0	9 282	5 427	-95 571	-120 573	0
12	2025	12 565	3 283	0	9 282	5 169	-86 289	-115 405	0
13	2026	12 565	3 283	0	9 282	4 923	-77 006	-110 482	0
14	2027	12 565	3 283	0	9 282	4 688	-67 724	-105 794	0
15	2028	12 565	3 283	0	9 282	4 465	-58 442	-101 329	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-101 329**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-4,1**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**21,3**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**





Varianta s vodním zásobníkem 100% pokrytí potřeby tepla

Diskontní sazba					5%	Roční nárůst cen paliv			0%
Rok		Náklady		Investice	Roční toky nekumul.		Roční toky kumul.		Návratnost
		pův.	nov.		nediskont.	diskont.	nediskont.	diskont.	
		tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	tis. Kč	let
0	2013			661 875	-661 875		-661 875	-661 875	0
1	2014	12 565	929	0	11 637	11 082	-650 238	-650 793	0
2	2015	12 565	929	0	11 637	10 555	-638 602	-640 238	0
3	2016	12 565	929	0	11 637	10 052	-626 965	-630 186	0
4	2017	12 565	929	0	11 637	9 573	-615 329	-620 612	0
5	2018	12 565	929	0	11 637	9 118	-603 692	-611 495	0
6	2019	12 565	929	0	11 637	8 683	-592 056	-602 811	0
7	2020	12 565	929	0	11 637	8 270	-580 419	-594 541	0
8	2021	12 565	929	0	11 637	7 876	-568 782	-586 665	0
9	2022	12 565	929	0	11 637	7 501	-557 146	-579 164	0
10	2023	12 565	929	0	11 637	7 144	-545 509	-572 021	0
11	2024	12 565	929	0	11 637	6 804	-533 873	-565 217	0
12	2025	12 565	929	0	11 637	6 480	-522 236	-558 737	0
13	2026	12 565	929	0	11 637	6 171	-510 600	-552 566	0
14	2027	12 565	929	0	11 637	5 877	-498 963	-546 689	0
15	2028	12 565	929	0	11 637	5 597	-487 326	-541 091	0

Čistá současná hodnota	**NPV**	**-541 091**	**tis. Kč**
Vnitřní výnosové procento	**IRR**	**-13,4**	**%**
Prostá doba návratnosti	**T_s**	**56,9**	**roky (let)**
Reálná doba návratnosti	**T_{sd}**	**>15**	**roky (let)**