



Výukové středisko Fakulty strojní,
Českého vysokého učení technického
v Praze

Herbertov - Horní Mlýn

Obsah

1. Úvod	2
2. Výukové a rekreační středisko Fakulty strojní, ČVUT v Praze	4
3. Původní řešení energetického zásobování	6
4. Využití obnovitelných zdrojů energie	7
4.1 Solární kolektory	8
4.2 Tepelná čerpadla	9
4.3 Malá vodní elektrárna	11
4.4 Záložní zdroj tepla	12
4.5 Energetická bilance	12
5. Rekonstrukce zdroje 1993 až 1995	12
5.1 Vodní turbina	13
5.2 Tepelná čerpadla	14
5.3 Záložní zdroj tepla	15
5.4 Dálkové monitorování	15
5.5 Energetické bilance	16
6. Rekonstrukce strojovny 2002-2004	16
6.1 Tepelné čerpadlo a primární výměník náhonu	18
6.2 Rekonstrukce potrubních rozvodů a akumulčních nádob	19
6.3 Monitorování	20
6.4 Současný stav	22
7. Vyhodnocení provozu	22
8. O autorovi návrhu	24
9. Závěrem	25
10. Literatura	27

Výukové středisko Fakulty strojní, Českého vysokého učení technického v Praze Herbertov - Horní Mlýn

Zpracoval: Ústavu techniky prostředí, Fakulty strojní, ČVUT v Praze v květnu 2008.
Autoři: Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. a Ing. Bořivoj Šourek

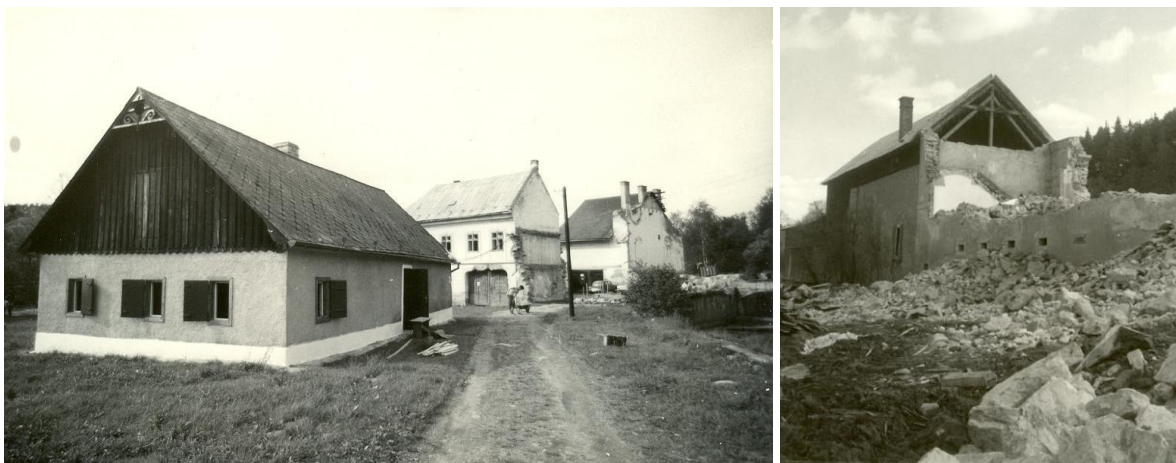
1. Úvod

Výukové a rekreační středisko Fakulty strojní Českého vysokého učení technického v Praze se nachází na pozemku bývalého vodního mlýna s pilou v jihočeské vesnici Herbertově.



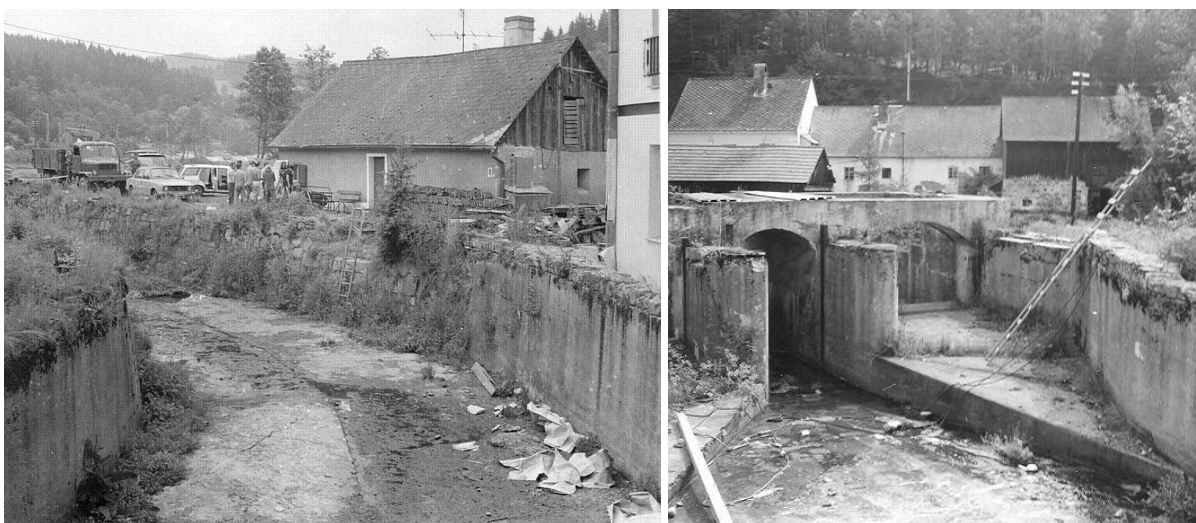
Obr. 1 Nejstarší dochovaný pohled na objekty bývalého vodního mlýna

Na začátku 20. století zde byla zbudována vodní elektrárna, která již v roce 1911 sloužila pro napájení tratě Rybník - Lipno, projektované F. Křížíkem [1]. V elektrárně byla instalována Francisova turbína, která pracovala s vodním spádem 3,65 m a průtokem vody 5,2 m³/s. Turbína poháněla řemenovými převody dvě dynamy, každé o výkonu 100 kW při 950 ot/min a jmenovitém napětí 1280 V. V elektrárně byl také umístěn akumulátor s 577 články, který sloužil pro vyrovnávání proudových špiček trakčních odběrů. Pro případ nedostatku vody byl v elektrárně umístěn parní stroj o výkonu 125 kW při 190 ot/min, který mohl pohánět obě dynamy. Teprve po napojení trakčního vedení trati na rozvodnou soustavu ČSSR přestal být objekt využíván.



Obr. 2 Rozbořené části budov objektu (1976)

V roce 1978 objekt zakoupila Fakulta strojní ČVUT. Cílem bylo na základech starého mlýna vybudovat objekt, který by sloužil ubytovacím účelům pro tělovýchovná soustředění studentů strojní fakulty a vybavit ho potřebnými sportovišti tak, aby se ušetřilo drahé nájemné za tělovýchovná zařízení a plavecké bazény v Praze. Vlastní stavba začala v roce 1979 a do roku 1982 se podařilo stavební záměr uskutečnit. Byl vybudován zděný objekt výukového a rekreačního střediska na původním půdorysu bývalého mlýna ve tvaru V, který je zcela zásobován teplem a elektrickou energií pouze z obnovitelných zdrojů (solární kolektory, tepelná čerpadla, vodní elektrárna) a dodnes slouží jako výukové a rekreační středisko fakultě i široké veřejnosti.



Obr. 3 Původní část objektu mlýna a náhonu k malé vodní elektrárně

Celé zařízení je majetkem strojní fakulty ČVUT v Praze a kromě běžného provozu střediska (kapacita 90 lidí) je využíváno při zkoumání využitelnosti alternativních zdrojů Ústavem techniky prostředí. Středisko je zásobováno teplem zcela unikátně bez produkce jakýchkoli emisí. Zdrojem tepelné energie jsou tepelná čerpadla a solární kolektory, zdrojem elektrické energie pak vodní turbína. Objekty školicího střediska jsou nejenom soběstačné, co do spotřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody, ale přebytek vyrobené elektrické energie je dodáván do veřejné sítě. Technická zařízení využívající obnovitelné zdroje energie, přes řadu nutných rekonstrukcí, překročila za dobu svého provozu již několikrát návratnost vložených investic.



Obr. 4 Areál výukového střediska v současnosti

2. Výukové a rekreační středisko Fakulty strojní ČVUT v Praze

Středisko Herbertov - Horní Mlýn se nachází v klidném údolí obklopeném lesy na soutoku řeky Vltavy a říčky Větší Vltavice asi tři kilometry pod Vyším Brodem a šest kilometrů od osady a hradu Rožmberk. Objekt se nachází ve velmi čistém přírodním prostředí v nadmořské výšce 556 m. Vlastní areál střediska tvoří tříhektarový ostrov ohraničený jezem s vorovou propustí, bývalým mlýnským náhonem, Vltavicí a Vltavou.



Obr. 5 Areál výukového a rekreačního střediska FS ČVUT v Praze Herbertov - Horní Mlýn

V hlavní budově se v současné době nachází 10 dvoulůžkových pokojů, 2 apartmány se 4 lůžky, 2 apartmány s 5 lůžky a dále 3 třílůžkové pokoje. Všechny mají vlastní hygienické zařízení. Na každém patře je malá kuchyňka a k dispozici ubytovaným jsou i dvě. K penzionu patří šest chatiček po pěti lůžkách s WC a studenou vodou a tři chatičky po pěti lůžkách bez příslušenství.



Obr. 6 Vnitřní vybavení pokojů

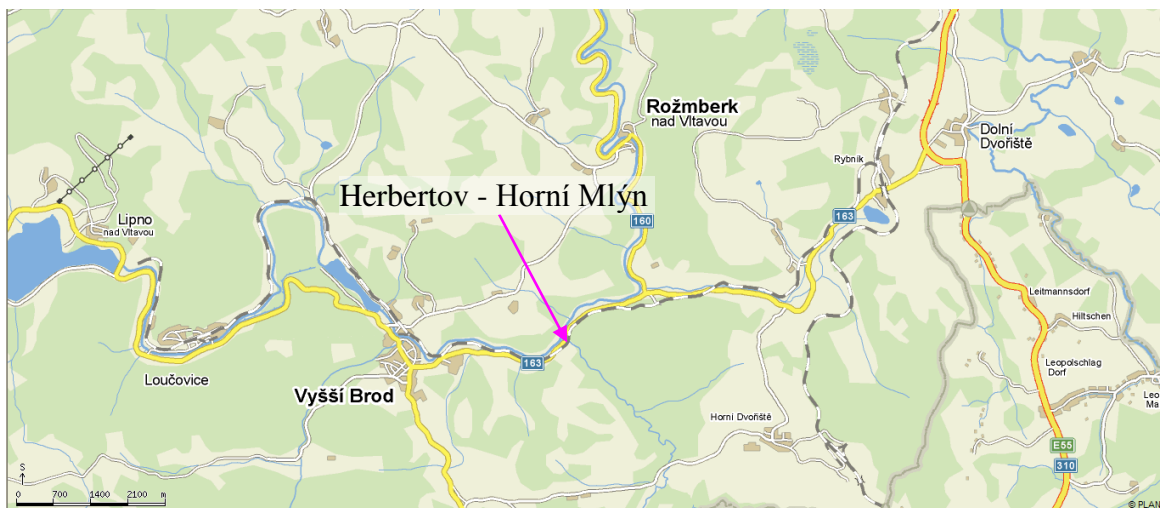
Umývárna s teplými sprchami je k dispozici po celý den v přízemí hlavní budovy. V každé chatičce je chladnička a jednoplotýnkový elektrický vaříč. Ubytovaným je k dispozici jídelna v hlavní budově, se 48 místy u stolů. Stravování je možné s 1/2 nebo celou penzí. Celková kapacita střediska je cca 90 osob. Zděný objekt a chaty jsou určeny k celoročnímu provozu. Ve volnějším období (konec září, říjen, listopad, únor, březen, duben) se zde pořádají pracovní setkání, semináře a malé konference [2].

Středisko umožňuje jak rekreační, tak plně sportovní vyžití. V areálu penzionu se nachází tenisový kurt s umělým povrchem, 2 volejbalové a 3 basketbalové kurty s asfaltovými povrchy, minigolf, velké travnaté hřiště pro malý fotbal a několik badmintonových hřišť. Je zde i loděnice, kde je možné zapůjčit si rafty nebo nafukovací loď a využít divokých peřejí Vltavy v těsné blízkosti střediska pod jezem. V zimě jsou využívány místní běžecké tratě a při dostatku sněhu i nedaleká sjezdovka na Kramolíně. V okolí jsou ideální podmínky pro turistiku a cykloturistiku a je zde mnoho historických památek. K těm nejznámějším patří například klášter ve Vyšším Brodě, hrad Rožmberk, město Český Krumlov.



Obr. 2 Sportoviště střediska

Autem lze do Herbertova jet z Českých Budějovic po silnici I. třídy č. 3 (E55). Po příjezdu do obce Dolní Dvořiště je nutné odbočit vpravo na silnici II. třídy č. 163, která vede až k rekreačnímu středisku. Vlakem se z Českých Budějovic cestuje do obce Rybník, kde je nutné přestoupit směrem na Vyšší Brod a dalším vlakem do stanice Herbertov.



Obr. 7 Poloha výukového střediska

3. Původní řešení energetického zásobování

Ze stavebního hlediska jde o běžnou stavbu. Objekt byl postaven z děrovaných cihel CD Tyn I o tloušťce 400 mm, obvodové konstrukce v podkroví jsou z plynobetonových tvárníc o tloušťce 250 mm. Podkrovní konstrukce jsou izolovány PPS o tl. 50 mm a minerální vlnou o tloušťce 20 mm. Okna jsou zdvojená s dřevěnými rámy. Stavební konstrukce tedy odpovídají tehdejší době a nebyly zatím nijak tepelně doizolovány. Tepelná ztráta stavby pro místní teplotní podmínky (výpočtová venkovní teplota $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) byla stanovena na 145 kW.



Obr. 8 Výstavba střediska

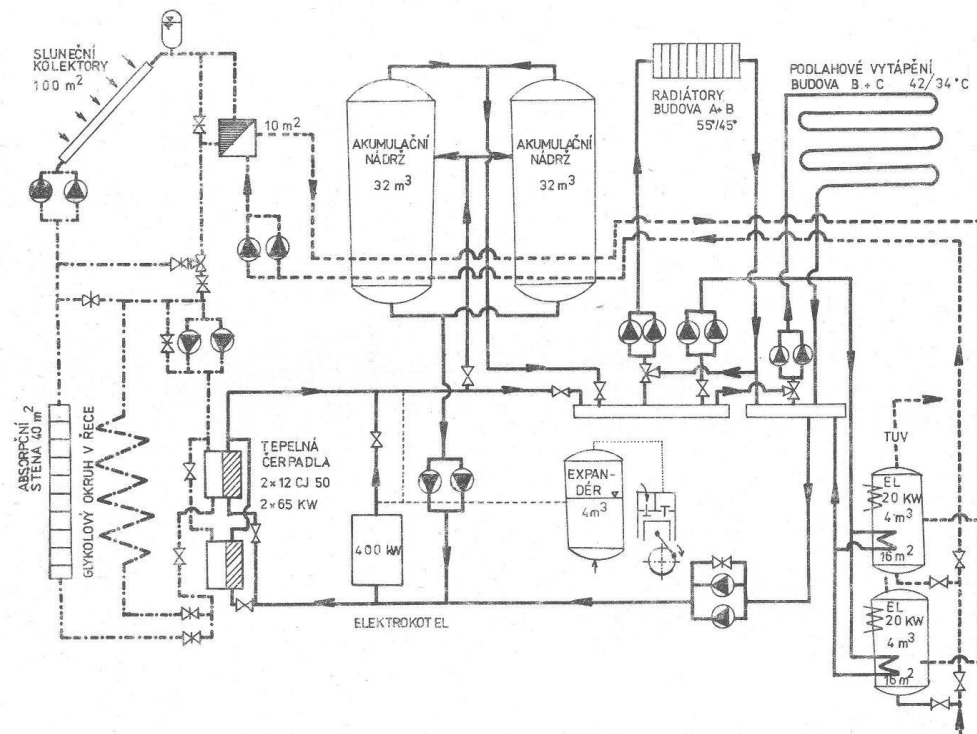
Vypracováním projektové dokumentace pro vytápění a přípravu teplé vody byl pověřen Karel Brož, tehdy odborný asistent na Fakultě strojní. Původní požadavek vedení fakulty byl, aby vytápění a příprava teplé vody byly zajištěny z uhelné kotelny, obsluhované na směny nejméně dvěma topiči. Projekt byl sice vypracován, nicméně K. Brož od počátku namítal, že je škoda v tak čistém přírodním prostředí pálit hnědé uhlí a vršit skládku popela, a doporučil projekt nerealizovat. Na druhé straně poukazoval na možnosti využití obnovitelných zdrojů a navrhl využití solárních kolektorů a tepelných čerpadel. Vedení fakulty nakonec od uhelné kotelny ustoupilo, nicméně rozhodlo, že vzhledem k levné elektrické energii by měl být

objekt plně elektrifikován. Vytápění mělo být zajištěno elektrickými akumulacími kamny. Odborníci z oboru elektro-silnoproud vypracovali projekt, akumulční kamna byla nakoupena, po budově rozvedeny silové vodiče a zabudovány spínací skřínky v místnostech. Potom vypracoval bytový architekt projekt zařízení místností nábytkem na míru a bylo zjištěno, že akumulční kamna se do již zařízených pokojů nevejdou. Mezera mezi postelami byla příliš malá pro instalaci již nakoupených akumulčních kamen. Jen díky této „nešťastné“ shodě okolností došlo k přepracování projektu. Ten se opět vrátil ke Karlu Brožovi tentokrát s požadavkem přepracovat vytápění sice na elektrické, ale s akumulací energie do vody a teplovodním rozvodem po všech budovách.

V roce 1981 byl vyhotoven projekt nízkoteplotní otopné soustavy s projektovými teplotami 55/45 °C (už s cílem zmenšit akumulátory tepla, které i tak měly objem 64 m³), které nabíjel elektrický odporový kotel ČKD Dukla o výkonu 396 kW. Regulace vytápění byla centrální ekvitermní. Energetická bilance plně elektrifikovaného zdroje, kryjícího veškeré potřeby z elektrické sítě, byla stanovena na 480 až 525 MWh/r (vytápění, v závislosti na klimatických podmínkách), 90 MWh/r (příprava teplé vody při 65% obsazení) a 85 MWh/r (osvětlení, vaření a pomocné provozy, např. čistička, dílna). Celková potřeba elektrické energie by se pohybovala mezi 655 až 700 MWh ročně. V roce 1982 by tato spotřeba představovala pro provozovatele roční náklad okolo 0,5 mil. Kčs. Karel Brož předpokládal, že s použitím alternativních zdrojů se podaří odběr ze sítě snížit nejméně na polovinu.

4. Využití obnovitelných zdrojů energie

Promyšlený koncepční návrh nízkoteplotního vytápění (litinová otopná tělesa, podlahové vytápění) umožnil využití obnovitelných zdrojů, z nichž ještě před dokončením energetického zdroje byla uplatněna tepelná čerpadla a systém slunečních kolektorů a se zpožděním jen několika týdnů byla uvedena do provozu i malá vodní elektrárna, jejíž malá turbína měla tehdy výkon do 45 kW. Slavnostní uvedení do provozu proběhlo 5. prosince 1982.

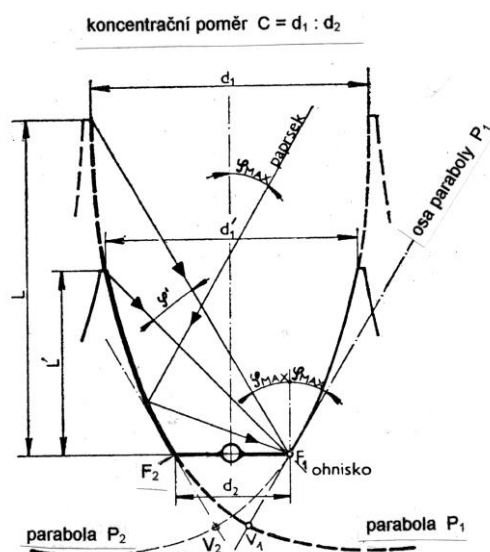


Obr. 9 Schéma řešení vícenásobného energetického zdroje s obnovitelnými zdroji energie

4.1. Solární kolektory

Solární kolektory použité k přípravě teplé vody v zásobnících umístěných ve strojovně případně pro primární okruh tepelných čerpadel byly předmětem vývoje doc. Brože na Katedře techniky prostředí koncem 70. let. Jedná se o typ mírně koncentrujícího solárního kolektoru s optimalizovaným Winstonovým zrcadlovým koncentrátorem slunečního záření. U původního prototypu z roku 1980 vyrobeného z běžných materiálů dostupných na tehdejšímu trhu byla identifikována řada nevýhod jako menší citlivost k difúznímu slunečnímu záření vzhledem ke koncentračnímu poměru 3:1, nutnost intervalového natáčení za sluncem (svislá poloha absorpčních lamel), nízká kvalita zrcadel z tvrzeného hliníkového plechu a velká pracnost při výrobě (velký počet lamel a zrcadel) [4].

Optimalizovaný typ Winstonova kolektoru (obr. 10) umožňuje účinně využívat sluneční záření bez nutnosti natáčení (vodorovně umístění absorpčních lamel) v podmínkách ČR. Zároveň je solární kolektor dostatečně citlivý vůči difúznímu slunečnímu záření (nižší koncentrační faktor 2:1, zkrácení zrcadel o 50 %). Osy parabol byly proti sobě natočeny o 25°, takže svírají úhel 50°, dostatečný k zachycení rozdílů výšek Slunce nad obzorem mezi vrcholem léta a vrcholem zimy. Lamelové absorběry mají poloviční plochu než je apertura kolektoru. Mají vysokou účinnost i při neselektivním povrchu absorběru pro jeho menší plochu.



Obr. 10 Geometrické poměry parabolických zrcadel a lamely absorběru v koncentrujícím kolektoru ČVUT – TŽP a jeho prototyp při zkoušce na Katedře techniky prostředí

Již v době návrhu a optimalizace kolektoru pro hromadnou výrobu byla jedním z hodnotících kritérií spotřeba materiálu, energetická náročnost výroby použitých materiálů a návratnost z hlediska spotřeby primární energie na výrobu a provoz kolektoru. Snahou tedy bylo optimalizovat plochu měděného absorběru tak, aby byla výrazně menší než u běžného plochého kolektoru a tedy úspora mědi převážila náklad na zrcadla. Rozměry byly optimalizovány tak, aby skříň kolektoru byla beze zbytků vyrobena z tabule plechu 1 x 2 m, také spotřeba tepelné izolace byla oproti běžným kolektorům snížena (pouze pod absorběry). Celkově bylo dosaženo o 50 % nižší spotřeby materiálu než u srovnatelných plochých solárních kolektorů. Optimalizovaný kolektor vyrobený ve spolupráci s tehdejšími družením Inklema Praha v roce 1980 byl přihlášen k ochraně jako průmyslový vzor.

Kolektor byl odzkoušen při srovnávacím měření s plochými kolektory na provizorní měřicí trati na ochozu střechy strojní fakulty v Dejvicích [5], která byla prvním stavebním kamenem později vzniklé Solární laboratoře Ústavu techniky prostředí, ČVUT v Praze [6]. Srovnávací měření z let 1980 a 1981 ukázala jednak na velmi dobrou tepelnou pružnost solárního kolektoru (nízký vodní objem kolektoru vede k nízké časové konstantě a rychlým reakcím na změnu slunečního ozáření), výhodné využití difúzního záření a celkově o 20 % vyšší tepelné zisky i za proměnlivého počasí a difúzního záření díky nižším tepelným ztrátám (menší plocha absorbéru).

Solární kolektory byly na Herbertově nainstalovány v roce 1982 (rok po tepelných čerpadlech) v ploše 100 m² jako hlavní zdroj tepla pro přípravu teplé vody. Kolektory jsou instalovány ve dvou řadách na nosných konstrukcích se sklonem 40° a orientací na jih (nenatáčivé) na pozemku před střediskem. Maximální okamžitý výkon kolektorů je cca 40 kW s roční dodávkou tepla 36 až 40 MWh. Kolektory slouží přednostně pro přípravu teplé vody. Pokud je však teplota teplotnosné látky po ochlazení ve výměníku přípravy teplé vody teplejší než teplotnosná látka z náhonu do tepelných čerpadel, lze směšovací armaturou propojit okruh kolektorů a primární okruh tepelných čerpadel (TČ) a zvýšit tak teplotu na vstupu do TČ. Tím je možné zvýšit jejich topný faktor a zlepšit energetickou bilanci zdroje.

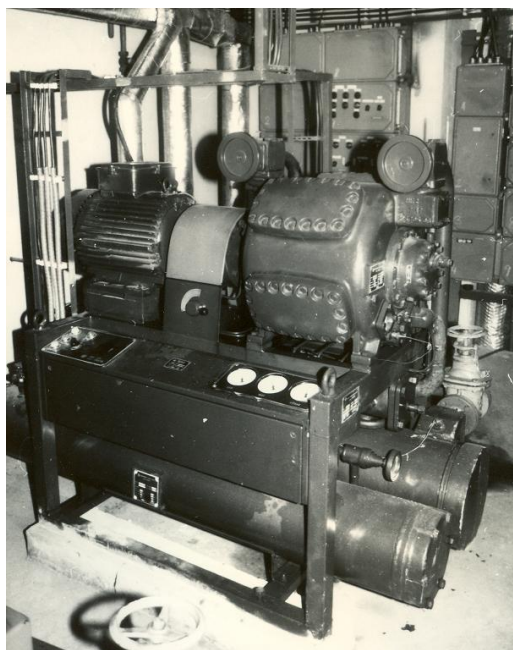
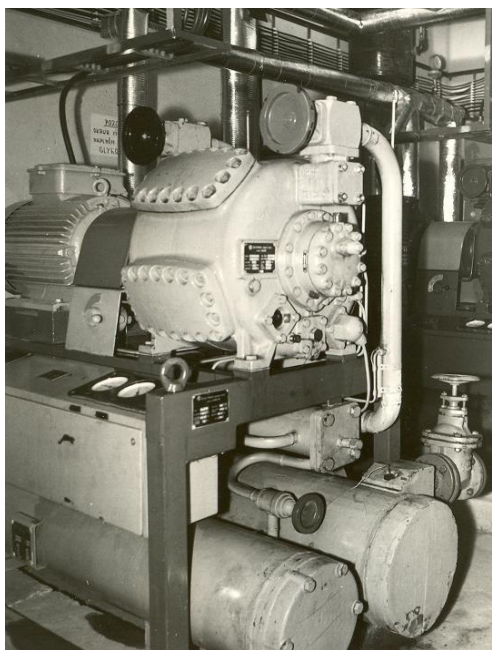


Obr. 11 Solární kolektory slouží až do dnešní doby

Návratnost instalace je již dnes složité spočítat, dle odhadů doc. Brože se samotná solární soustava zaplatila vzhledem k bezproblémovému fungování již několikrát. V současné době jsou však již některé kolektory poškozené a kolektorové pole tak není plně funkční.

4.2. Tepelná čerpadla

Podle původního projektu využití obnovitelných zdrojů energie mělo být elektroakumulační teplovodní vytápění nahrazeno dvěma tepelnými čerpadly. V době realizace se však v tehdejší ČSSR tepelná čerpadla o výkonu 60 kW nevyrobila. V ČKD Choceň byla pro účely instalace na Herbertově přestavěna na tepelná čerpadla dvě chladicí zařízení typu voda-voda (chladiče vody 12 CJ 50 a CJ 70, přestavení jističů tlaku) o tepelném výkonu 60 kW s kompresory BWW 411 s příkonem motoru 18,5 kW. Zařízení byla pořízena velmi levně (75 tis. Kčs za kus), nicméně bez možnosti záručních oprav vzhledem k tehdy nestandardnímu provedení.



Obr. 12 Původní tepelná čerpadla z ČKD Choceň (1982)

Tepelná čerpadla byla určena k přečerpávání tepla z řeky přes výměník s nemrznoucí směsí a alternativně též ze soustavy solárních kolektorů a absorpční stěny. Vlastní výměník umístěný v náhonu byl vyroben z ocelového chladiče odkoupeného z kolínského lihovaru.



Obr. 13 Výměník tepla umístěný v říčním náhonu

Absorpční stěna o celkové ploše 40 m² využívala energie slunečního záření a tepla okolního vzduchu jako nízkopotenciální zdroj energie pro primární okruh tepelných čerpadel. Zejména v přechodném období (jaro, podzim) bylo její využití energeticky výhodnější než využití chladné vody v náhonu. Absorpční stěna byla sestavena z lamel sálavých panelů tehdejšího výrobce STROS Sedlčany o šířce 150 mm, natřených černou barvou a umístěna na jihovýchodní stěně strojovny. Při dostavbě turbínové haly v rámci rekonstrukce v roce 1994 však musela být odstraněna (novou přístavbou byla zcela zastíněna) a od té doby v systému není.



Obr. 14 Absorpční stěna

4.3. Malá vodní elektrárna

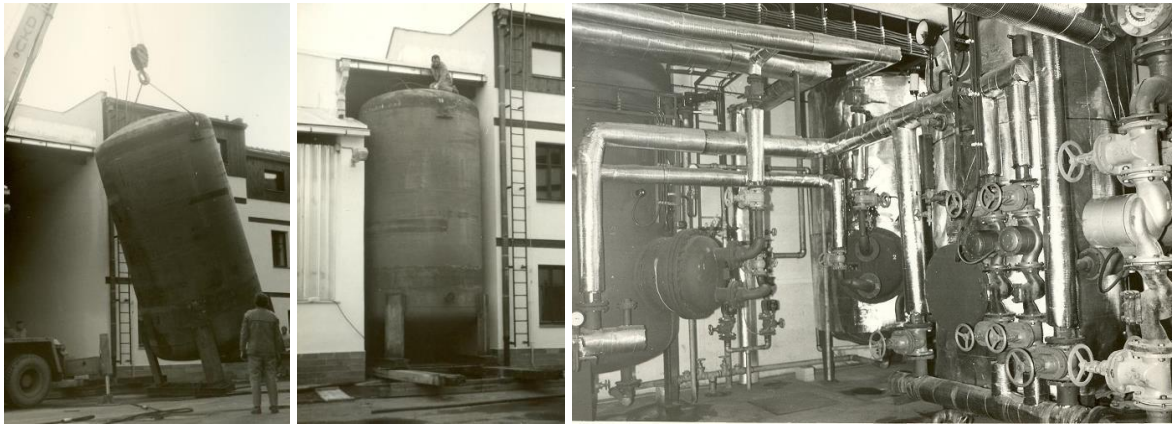
Významným energetickým zdrojem od roku 1982 byla vodní turbína o výkonu 40 až 45 kW (při optimálním průtoku), využívající nového mlýnského náhonu se spádem 2,8 m. Jelikož ani malé vodní turbíny nebyly v té době příliš dostupné, získalo ji ČVUT z majetku jednoho zemědělského družstva. JZD se o ni nestaralo a turbína se postupně zanesla bahnem. Musela být doslova „vykopána“ a odkoupena za cenu šrotu. V dílnách ČVUT byla provedena generální oprava, byla vybavena regulátorem a generátorem a nainstalována. Turbína ročně vyrobila 220 až 300 MWh elektrické energie. Jelikož spotřeba elektrické energie se pohybovala okolo 260 MWh, v některých letech byl k dispozici přebytek elektrické energie dodávaný do sítě, v některých letech naopak nedostatek. Vodní turbína byla umístěna v plechovém objektu nad náhonem.



Obr. 15 Vodní turbína v průběhu úprav náhonu a poté již v plechovém objektu strojovny

4.4 Záložní zdroj tepla

Jako záložní zdroj fungoval zmíněný elektrický kotel o výkonu 396 kW s akumulací zásobníky o objemu $2 \times 32 \text{ m}^3$.



Obr. 16 Instalace akumulčních zásobníků a hydraulické propojení ve strojovně

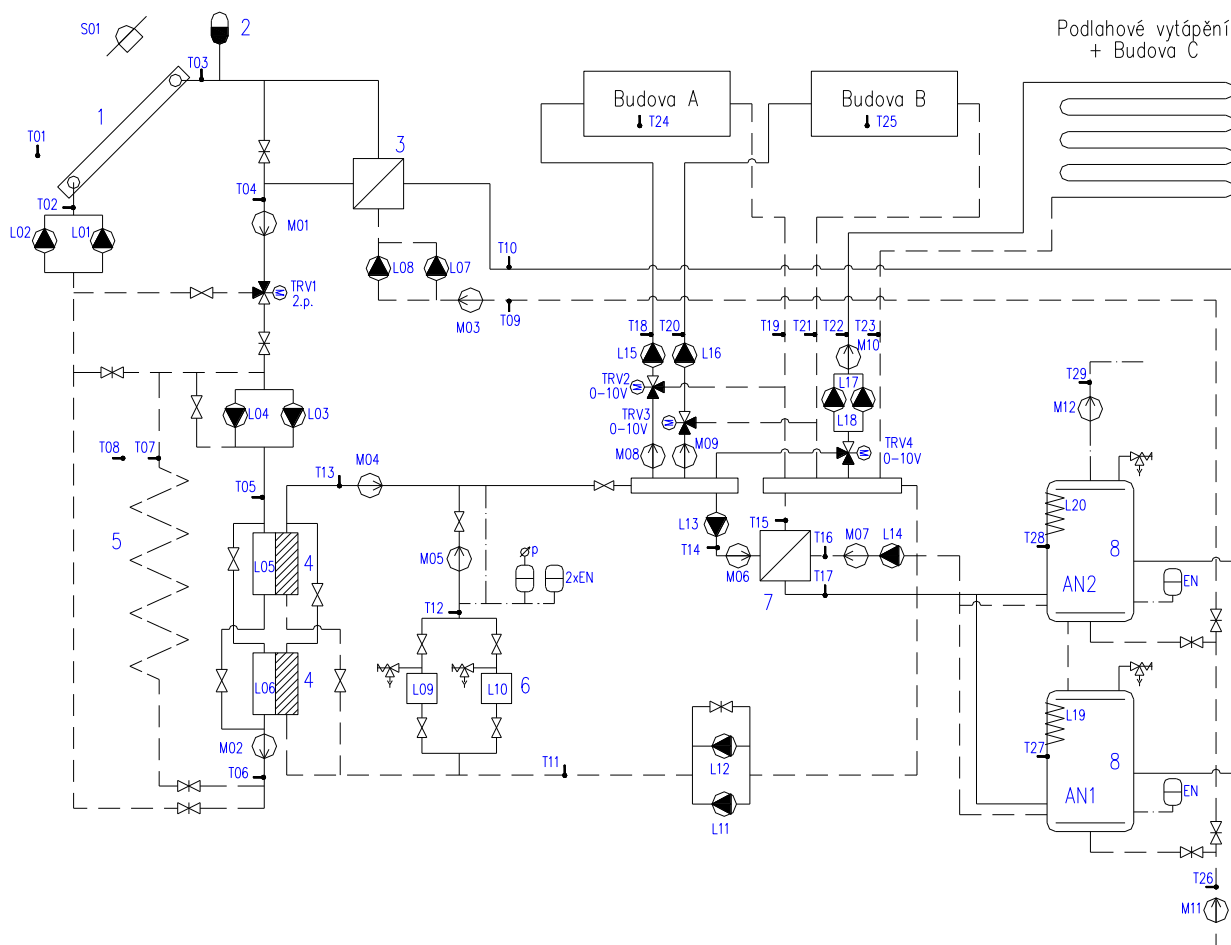
4.5 Energetická bilance

Energetické toky vícenásobného zdroje byly od spuštění celé soustavy sledovány a v období 1982 až 1992 se pohybovaly následovně. Tepelná čerpadla dodávala veškerou energii pro vytápění při průměrné spotřebě elektrické energie pouze 160 MWh/r. Zbytek až do ev. 525 MWh/r byla přečerpáná energie z řeky, absorpční stěny, ev. ze zpětného potrubí solárních kolektorů. Spotřeba tepla na přípravu TV, celkem 90 MWh/r, byla kryta z části cca 32 MWh/r přímou dodávkou ze slunečních kolektorů, zbylých 58 MWh/r bylo dodáno tepelnými čerpadly přečerpáním tepla z řeky (20 MWh/r), z absorpční stěny (25 MWh/r) a systému slunečních kolektorů (13 MWh/r) při spotřebě elektrické energie průměrně jen 13 MWh/r. Energie nutná pro vaření, osvětlení a pomocné provozy (85 MWh/r) byla spotřebována přímo ve formě elektrické energie.

Celková spotřeba elektrické energie tedy činila ve sledovaném období 10 let průměrně 258 MWh/r. Průměrná výroba elektrické energie v MVE byla v tomto období 290 MWh/r. Z bilance plyne průměrný přebytek elektrické energie 32 MWh/r. Tento přebytek neznamenal, že by provozní náklady na zdroj byly nulové. Protože cena elektřiny ze sítě odebírané byla vyšší než energie do sítě dodávané (vykupované), a v zimě byl elektřiny mírný nedostatek, zatímco v létě přebytek. Avšak ve srovnání s provozem spotřebičů pouze na el. síť dosahovaly úspory téměř 0,5 mil. Kčs/r. Jednoduchá doba návratnosti celého zdroje byla stanovena na 1,9 roku i při zahrnutí výstavby nového náhonu pro MVE. Jenom doba návratnosti stanovena pro tepelná čerpadla při jejich ceně 75 000,- Kčs za kus byla 2 měsíce.

5. Rekonstrukce zdroje 1993 až 1995

Po více než 10 letech provozu došlo vzhledem k použitým technologiím k technickému vyčerpání některých součástí. V roce 1994 tak byly, resp. musely být v energetickém zdroji učiněny značné změny s výjimkou soustavy solárních kolektorů.



Obr. 17 Schéma zdroje tepla po rekonstrukci (1995)

5.1. Vodní turbína

V roce 1993 se přihlásil potomek majitele původní turbíny a v restituci ji dostal zpět. Škola turbínu s novými rozváděcími a oběžnými lopatkami musela na vlastní náklady vymontovat a odvézt, navíc přidat i regulátor a generátor, který zakoupila sama. Dodávka elektrické energie 260 až 300 MWh ročně byla v letech 1993 až 1994 zajišťována pouze z veřejné sítě. Nakonec se podařilo s podporou od České energetické agentury ve výši 1 mil. Kč financovat stavbu nové turbínové haly. Byla vyprojektována a dodána nová Kaplanova turbína se svislým generátorem o výkonu 120 kW (průtok $4 \text{ m}^3/\text{s}$, spád 2,8 m), která lépe využívá energetického potenciálu náhonu. Turbína je nízkohlučná, bez kuželových ozubených kol, pouze s řemenovým převodem. Od roku 1994 je turbína v trvalém provozu a vykazuje vysoké přebytky vzhledem k roční výrobě elektrické energie okolo 750 až 850 MWh.



Obr. 18 Horní část turbíny s řemenovým kolem a generátor nové vodní elektrárny 120 kW

5.2 Tepelná čerpadla

Změny zaznamenala také tepelná čerpadla (obr. 17, pozice 4). Protože jejich původní chladivo bylo problematické R12, musel být v roce 1995 proveden jejich retrofit na přijatelnější, ekologicky méně škodlivé. První stroj, označený symbolem L05, byl shledán v dobrém stavu a byl převeden na ekologicky vhodné chladivo R 134a, které neobsahuje chlor. Retrofit se zdařil a stroj pracoval s novým chladivem bez výměny elektromotoru a dokonce o něco lépe než dříve. Druhý z nich, označené ve schématu vedlejším symbolem L06,



Obr. 20 Nově instalované elektrokotle

bylo po prohlídce označeno jako nevhodné pro rekonstrukci s ohledem na svůj horší stav a dosavadní proběh asi 70 000

provozních hodin. Bylo demontováno a nahrazeno novým hermetickým strojem IVT Energy řady 8000 o tepelném výkonu 50 kW (dovoz ze Švédska, v té době nebyl v ČR žádný výrobce podobných strojů). Rekonstrukce tepelných čerpadel byla podpořena v projektu GAČR [7].

Absorpční stěna, která se provozně velmi osvědčila jako zdroj nízkopotenciální energie, musela ustoupit přístavbě nové turbínové haly, která ji z 80 % zastínila.



Obr. 19 Nové TČ - IVT

5.3. Záložní zdroj tepla

Na základě rozboru více než 10-letého provozu bylo zjištěno, že elektrický kotel o výkonu 396 kW byl využit jen několik málo hodin, a to ještě jen na částečný výkon v případech, kdy v místě poklesla teplota vzduchu na $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a méně a to po dobu alespoň dvou dnů. Kotel vyžadoval platbu značné pevné sazby za instalovaný výkon. Proto byl kotel demontován a odprodán. Jeho místo a funkci nyní zastávají dva malé kotle, každý o výkonu 25 kW, označené ve schématu na Obr. 17 pozicí 6. Tím odpadl důvod pro udržování akumulátorů o celkovém objemu 64 m^3 , protože pro solární kolektory postačuje akumulace 8 m^3 ve dvou stojatých ohřívácích TV (obr. 17, pozice 8). Velké akumulátory byly demontovány a v jejich prostoru je nyní umístěna garáž. Pro přípravu teplé vody byly ohříváky vybaveny dvěma sadami elektrických topných odporů $3 \times 3\text{ kW}$.

5.4. Dálkové monitorování

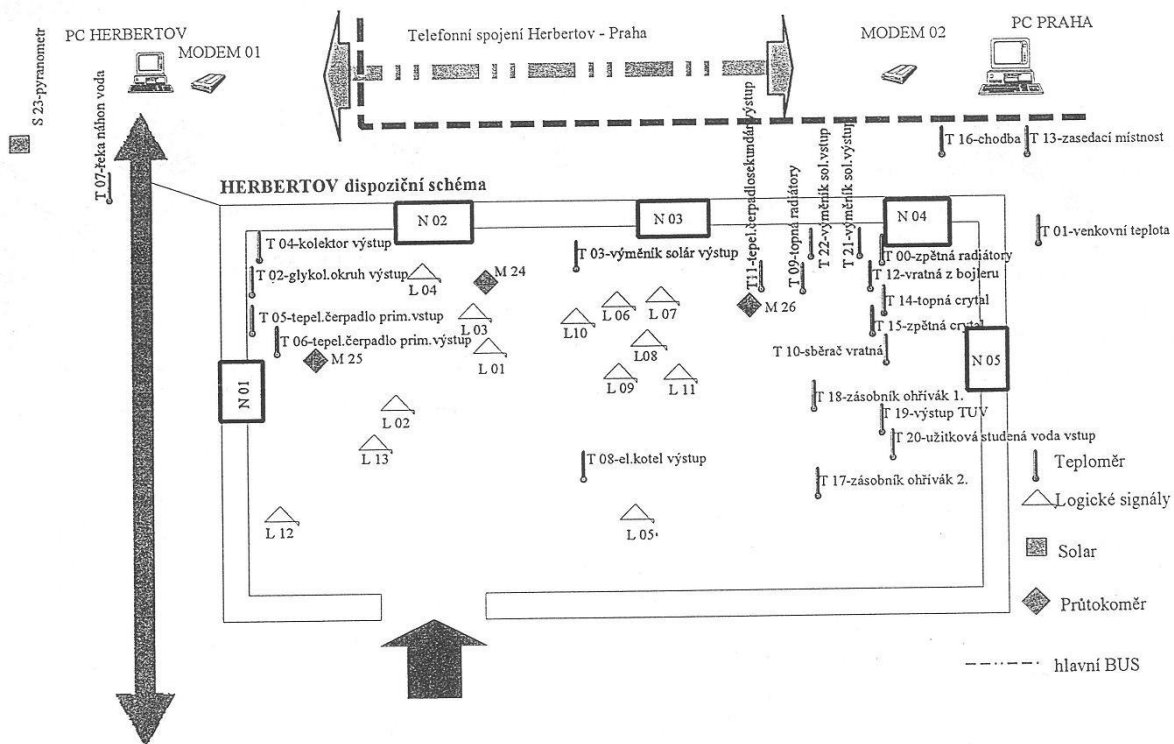


Obr. 21 Dálkový monitorovací systém (PC na Herbertově)

V rámci uvedeného grantu [7] byl celý zdroj vybaven monitorovacím zařízením. Byla nainstalována čidla slunečního záření dopadajícího na kolektory (solarimetr pozice S01), teplotní čidla pro snímání teplot (označené T a číslem), logické stavy zařízení (zapnuto, vypnuto, označené L a číslem) a dále průtokoměry (označené M a číslem). Všechny tyto hodnoty se přenášely sběrníci dat systému s neuronovými čipy LonWorks a přes faxmodemy je bylo možné předávat do Prahy telefonní linkou. Studenti tak mohli bez náročného cestování vyhodnocovat efektivnost jednotlivých částí energetického zdroje, účinnost

systému kolektorů, topný faktor tepelných čerpadel, momentální odběr tepla v jednotlivých spotřebičích atd., nebo mohla být uložena data vyhodnocována zpětně. Výsledky monitorování a vyhodnocování provozu zdroje mohly být od té doby používány ve výuce studentů strojí fakulty ČVUT [11-13] a zpřístupňovány technické veřejnosti. Schéma monitoringu včetně rozmístění čidel a měřicích modulů je uvedeno na Obr. 22.

Instalovaný systém měření však od počátku provázely problémy. Formát ukládaných dat byl pro následné vyhodnocení nevhodný a vyžadoval složité převádění do řádkové formy (jeden řádek s měřenými hodnotami pro jeden čas záznamu), a nebyla k němu poskytována již žádná následná podpora. Brzy se také začaly projevovat problémy s napájením měřicích modulů a dva z pěti modulů přestaly zcela měřit. Po tomto výpadku nemohla být data řádně zpracovávána a vyhodnocována. Měřicí moduly nebylo možné opravit, neboť byly použity nestandardní komponenty dovezené z USA, které v té době ještě nebyly na trhu k dispozici. K uvedenému systému měření také nebyla dodána žádná dokumentace.



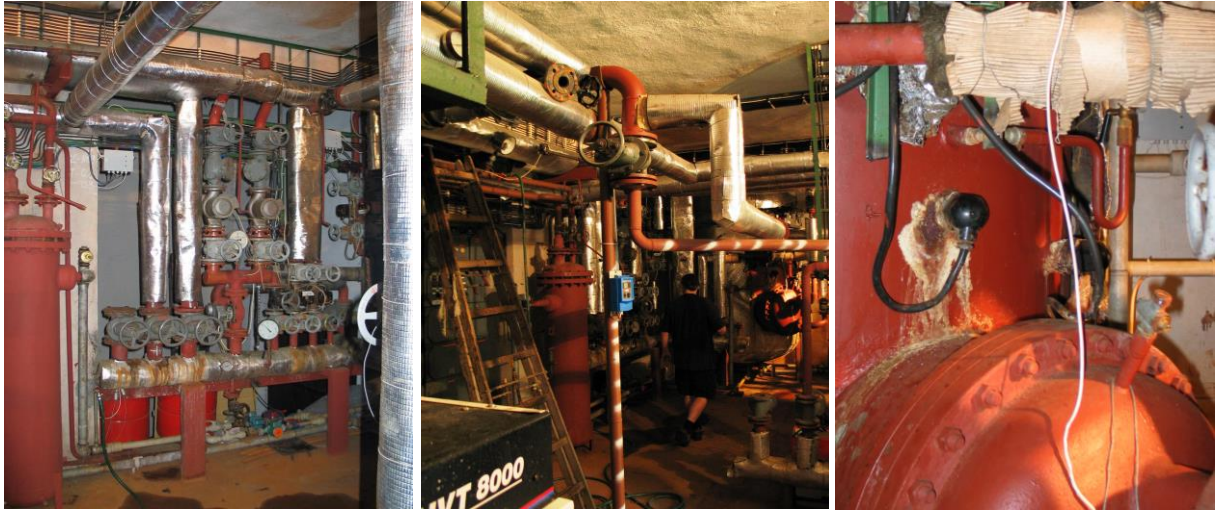
Obr. 22 Schéma dálkového přenosu dat

5.5. Energetická bilance

Bilance energetických potřeb se po uvedených změnách příliš nelišila od původního stavu. I když ubyla absorpční stěna jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelná čerpadla, je tento schodek doháněn přečerpáváním tepla z řeky. Průměrná roční spotřeba elektrické energie od roku 1995 je okolo 260 MWh/r. Hodnota, která se však zásadně změnila, je roční výroba elektrické energie novou turbínou, průměrně dosahuje 850 MWh/r. Výsledný přebytek elektrické energie 590 MWh/r nejen, že zaručil již "energeticky bezplatný" provoz celého střediska, ale znamenal též roční příjem z prodeje energie téměř 400 000,- Kč v tehdejších výkupních cenách (1998).

6. Rekonstrukce strojovny 2002-2004

Přes nezanedbatelné energetické zisky a stálý roční ekonomický přínos z vodní elektrárny nebyly na zdroji tepla prováděny základní údržbové práce a většina regulačních a uzavíracích armatur byla časem zcela nefunkční. Celý systém tak po dvaceti letech provozu, za které se investice do něho desetinásobně vrátily, stál za horizontem své životnosti a bylo jen otázkou času (a to spíše v řádu měsíců než roků), kdy by došlo k zásadní poruše na některém zařízení. Zvláště průsaky kolem elektropatron v akumulacích nádobách pro přípravu teplé vody hrozily kdykoliv odstávkou dodávky teplé vody.



Obr. 23 Původní rozdělovač sběrač a část původních rozvodů, průsaky okolo elektropatron

Zbylé tepelné čerpadlo ČKD typ 121 C 70, již nebylo možné dále provozovat, neboť bylo každý rok nutné doplňovat chladivo, které unikalo přes netěsné ucpávky polohermetického kompresoru. Náklady na toto doplňování se pohybovaly kolem 20.000,- Kč ročně a po třech letech se rozhodlo o odstavení z provozu (2002). Jeho funkci tak převzaly oba záložní elektrokotle a energetická bilance zdroje se tak podstatně zhoršila.

V roce 2003 byla podána žádost o dotaci na rekonstrukci zdroje z fondů Ministerstva životního prostředí. Projekt nezapadal do podporovaných kategorií a bylo tak zažádáno o výjimku u ministra. Byl proveden energetický audit celého objektu včetně vícenásobného energetického zdroje [14]. Součástí naplánované rekonstrukce měly být veškeré potrubní rozvody včetně tepelného výměníku v náhonu, uzavírací a regulační armatury, oběhová čerpadla, tepelné výměníky a akumulační nádoby pro přípravu TV. Původní vzdušník pro udržování hladiny tlaku v otopné soustavě měl být nahrazen tlakovou expanzní nádobou.

Vítězem výběrového řízení se stalo konsorcium firem Buderus a Somatherm. Na základě požadavků Fakulty strojní byla vypracována projektová dokumentace pro kompletní rekonstrukci strojovny včetně systému měření a regulace (MaR), která prošla oponentním řízením na Ústavu techniky prostředí. Po odsouhlasení konečné verze byla započata rekonstrukce.



Obr. 24 Materiál připravený pro montáž (potrubí pro primární okruh tepelných čerpadel, nové nerezové akumulační nádoby pro přípravu teplé vody)

6.1. Tepelné čerpadlo a primární výměník v náhonu

V rámci rekonstrukce bylo nainstalováno nové dvoukompresorové tepelné čerpadlo Buderus WPS 6801 o tepelném výkonu 67,8 kW, zapojené do kaskády se starším tepelným čerpadlem IVT o výkonu 50 kW (instalace v roce 1995). Tepelná čerpadla odebírají teplo z říční vody proudící náhonem k vodní elektrárně prostřednictvím nového tepelného výměníku.



Obr. 25 Nové tepelné čerpadlo připravené k instalaci a dvojice tepelných čerpadel po rekonstrukci



Obr. 26 Původní výměník primárního okruhu TČ v náhonu k vodní elektrárně



Obr. 27 Nový tepelný výměník primárního okruhu TČ umístěný na dno náhonu

Primární okruh je po rekonstrukci tvořen velkoplošným trubkovým výměníkem ukotveným na dně náhonu. Výměník je tvořen 1600 m potrubí HDPE, zapojeným do šestnácti větví, kruhovitě stočených. Přes zdánlivou jednoduchost přineslo toto řešení několik problémů. Vlivem velkých namáhání potrubí proudící vodou docházelo k přetrhávání kotvicích pásek jednotlivých smyček a ty vyplouvaly na hladinu. Proudem vody došlo také k sesunutí smyček blíže k náhonu oproti původní instalaci. Tyto nedostatky musely být postupně odstraňovány při pravidelném čištění česlí a náhonu.

6.2. Rekonstrukce potrubních rozvodů a akumulčních nádob

V rámci rekonstrukce byly odstraněny veškeré potrubní rozvody včetně regulačních a uzavíracích armatur, oběhových čerpadel, obou akumulčních nádob pro přípravu teplé vody a vzdušník s kompresorem ve strojovně. Všechny rozvody byly nahrazeny novými a opatřeny tepelnou izolací.



Obr. 28 Demontáž původního rozdělovače-sběrače



Obr. 29 Postupná demontáž akumulčních nádob a „zbytek“ původní kotelny

Po úplné demontáži byl prostor technické místnosti vyčištěn a nově vymalován. Původní místnost se tak změnila k nepoznání a nově instalované technologie se ocitly v odpovídajícím prostředí.

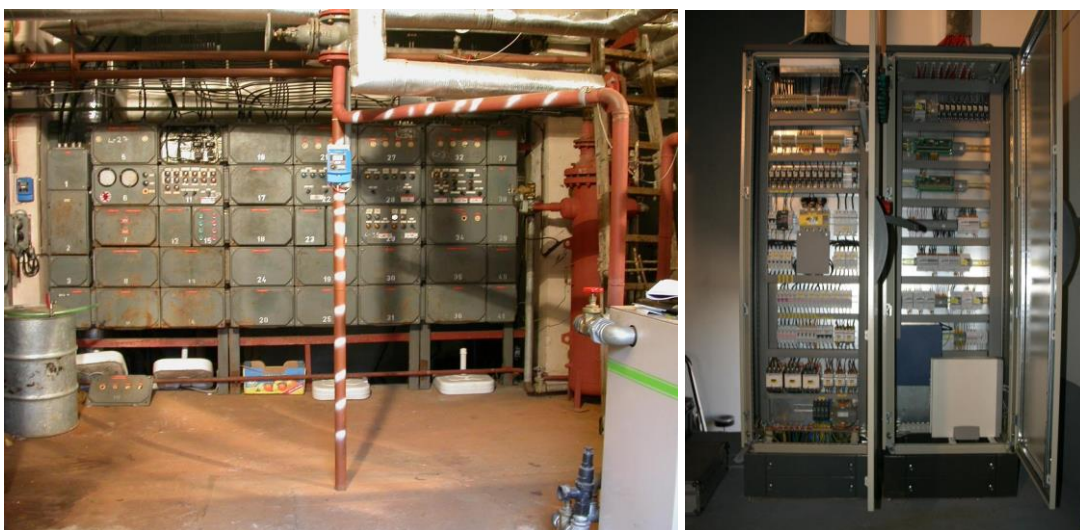


Obr. 30 Původní zapojení otopných okruhů na rozdělovači-sběrači (vlevo) a stav po rekonstrukci

6.3. Monitorování

Do kompletní rekonstrukce byla zahrnuta i výměna veškerých regulačních armatur. Vzhledem k tomu, že i regulační systém byl již výrazně zastaralý a nesplňoval základní požadavky na moderní řídicí systém takového zdroje, bylo rozhodnuto o kompletní rekonstrukci systému MaR. Jako podmínku si ČVUT položilo možnost kompletního monitorování zdroje tepla (vodní elektrárna nebyla do projektu zahrnuta) v nadstandardním rozsahu oproti běžnému systému MaR.

S ohledem na úsporu finančních prostředků byla část realizace MaR svěřena Katedře měření FEL ČVUT pod vedením doc. Ing. Jaroslava Roztočila, CSc. Projekt MaR se stal součástí několika diplomových a disertačních prací (R. Špinar, M. Kaše, P. Tyml). Vlastní realizaci navrženého a vyvinutého algoritmu provedla firma dataPartner, která i nad rámec povinností prováděla dodatečné úpravy podle požadavků vzešlých ze zkušební provozu.



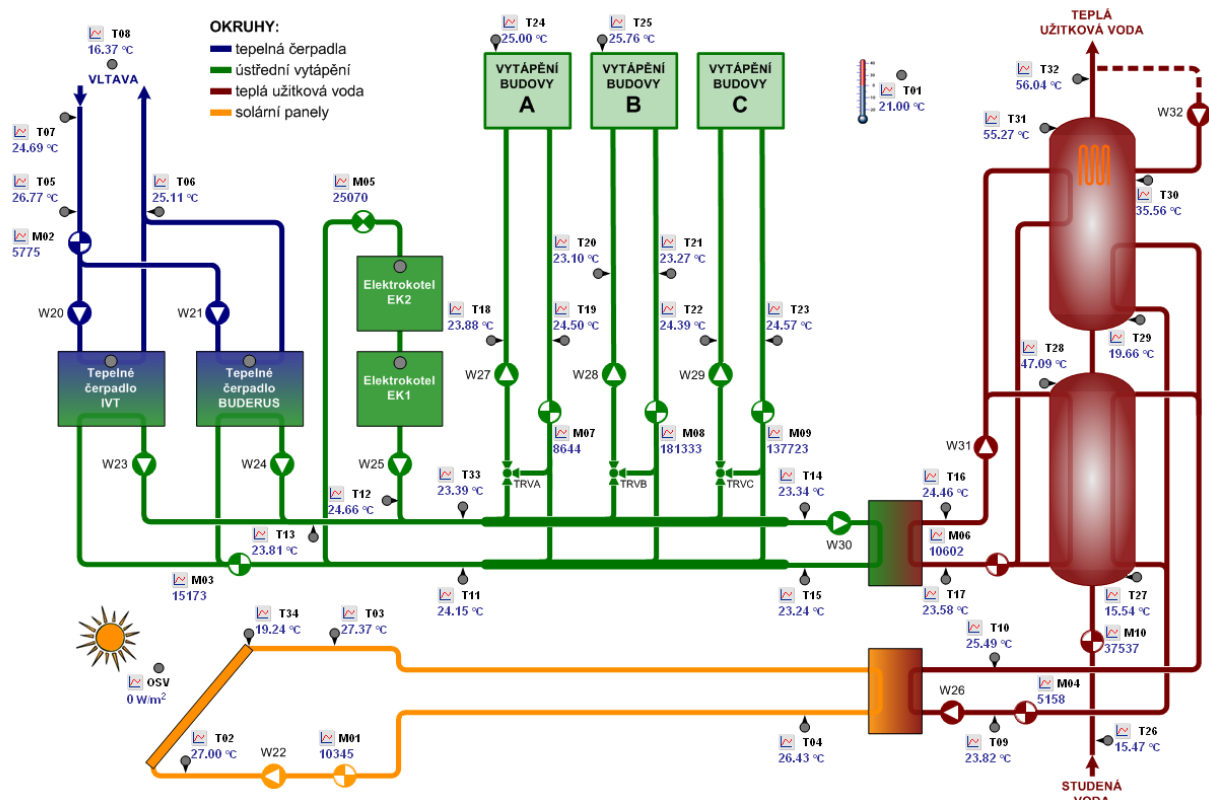
Obr. 31 Původní a nová podoba zařízení MaR

V současnosti je používán modulární systém založený na jednotkách TEDIA MU s možností libovolného rozšíření měřicích bodů. Je umožněna dálková správa a kontrola zdroje tepla vizualizací na PC, které je umístěno v kanceláři správce objektu. Oproti původním předpokladům se vzhledem k finančním možnostem projektu nepodařilo realizovat požadavek na možnost změny některých parametrů řízení otopné soustavy z pracoviště v Praze.

Monitorovací systém každé 2 minuty archivuje 96 výstupů (teploty, průtoky, logické stavy zařízení apod.) z nichž je možné následně vyhodnotit energetickou bilanci sledovaných systémů:

- měření množství dopadající sluneční energie (spolu s monitorováním dalších meteorologických dat – venkovní teplota, relativní vlhkost venkovního vzduchu, aj.);
- měření množství tepla zachyceného kolektory slunečního záření;
- stanovení křivky účinnosti kolektorů slunečního záření (okamžité, sezónní, roční);
- měření energie dodané tepelnými čerpadly;
- měření spotřeby energie pro pohon tepelných čerpadel;
- stanovení topného faktoru tepelných čerpadel (okamžitého, sezónního, ročního);
- měření spotřeby TV a energie spotřebované na její přípravu;
- měření využití špičkových elektrických kotlů.

I přes nesporné zlepšení provozu energetického zdroje je ve spolupráci s Katedrou měření FEL systém MaR dále rozvíjen za účelem umožnit využití získaných dat pro výuku předmětů vyučovaných jak na FEL tak na FS ČVUT[15].



Obr. 32 Schéma vizualizace energetického zdroje dostupná na webových stránkách ČVUT [16]

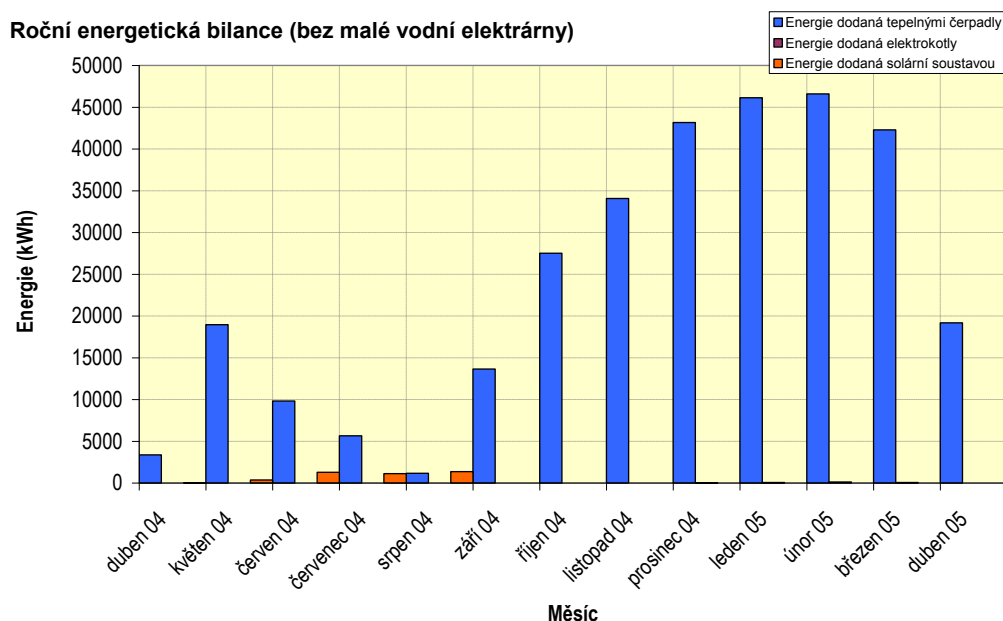
6.4. Současný stav

Poslední provedená rekonstrukce prodloužila podstatně životnost zdroje a zajistila minimálně na dalších 10 let jeho funkci. Navíc je zdroj pod neustálou kontrolou a případné zhoršování provozu jednotlivých součástí by mělo být včas zachyceno.

Bohužel hned od počátku provozu po rekonstrukci došlo k nešťastné události na solární soustavě, kdy před předáváním do provozu byla při tlakové zkoušce solární soustava napuštěna vodou a ponechána v soustavě přes noc. Bohužel vlivem ranního mrazu došlo k poškození části přívodních potrubí do kolektorů a dokonce i několika samotných kolektorů. Z tohoto důvodu byla část kolektorového pole zcela odstavena a na zbytku solární soustavy dochází k neustálému mírnému úniku teplotnosné látky. Solární soustava proto není naplněna nemrznoucí směsí, aby nebylo nutné drahou směs neustále doplňovat, ale pouze vodou. Solární soustava je na celou zimu vypuštěna je v provozu pouze od jara do podzimu. Energetická bilance vodní elektrárny probíhá vizuálním odečtem elektroměru a je tak mimo centrální monitoring zdroje.

7. Vyhodnocení provozu

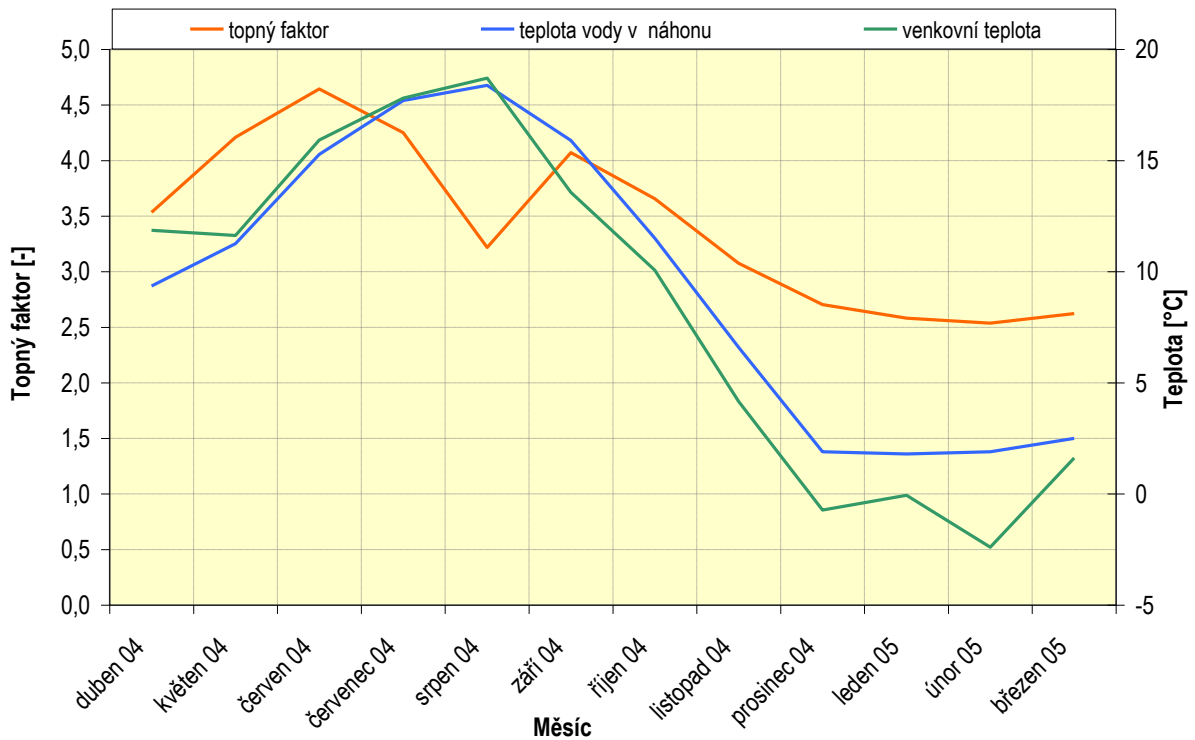
Vyhodnocené období duben 2004 až březen 2005 potvrdilo dobrou funkci všech instalovaných součástí zdroje i funkci systému MaR. V prvním otopném období byly postupně upravovány ekvitermní křivky pro všechny tři větve otopné soustavy podle skutečně naměřených teplot v interiérech tak, aby se zabránilo přetápění. Na obr. 33 je znázorněna bilance dodávky tepla z tepelných čerpadel a solární soustavy. Solární soustava je v současné době provozována pouze v letním období, což je patrné z grafu.



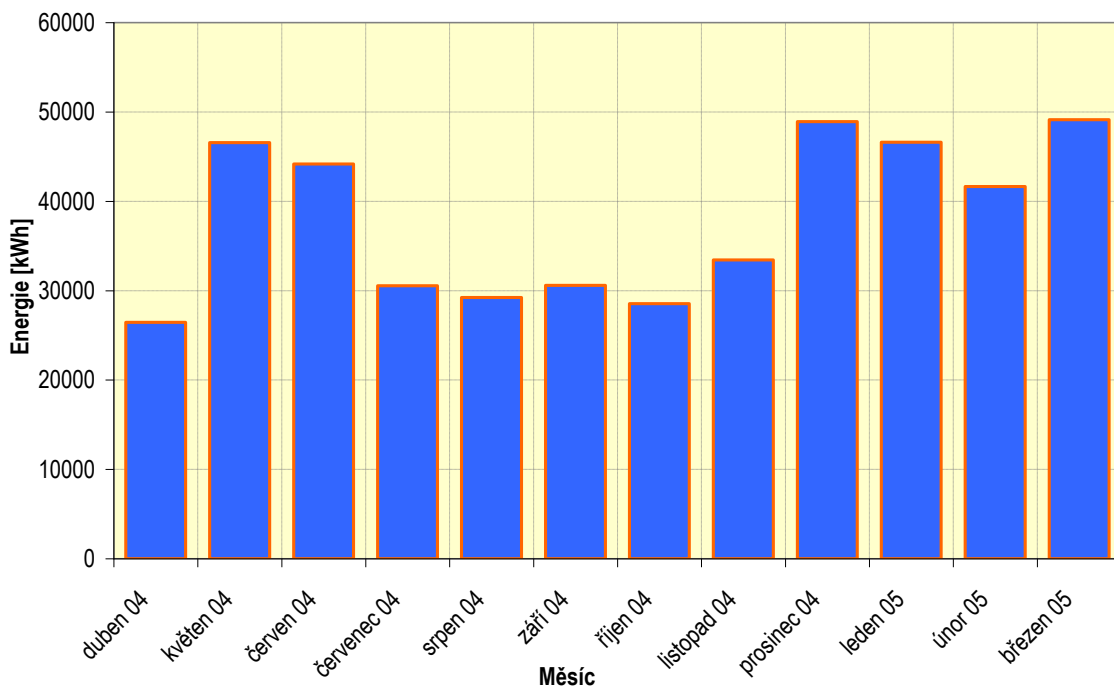
Obr. 33 Energetická bilance zdrojů tepla

Na průběhu topného faktoru je vidět jeho závislost jak na teplotě vody v náhonu (teplota na primární straně tepelných čerpadel), tak na venkovní teplotě (ekvitermně řízená teplota do otopné soustavy na výstupu z tepelných čerpadel). Snížení topného faktoru v červenci a srpnu je dáno využitím tepelných čerpadel pro přípravu teplé vody, které je v prázdninových měsících velké množství (až 3,5× víc než je průměr za ostatní měsíce). Tím je dán požadavek

na vysokou teplotu výstupní vody z tepelných čerpadel, což má za následek snížení topného faktoru.



Obr. 34 Průběh topného faktoru tepelných čerpadel



Obr. 35 Průběh roční výroby elektrické energie vodní turbinou ve sledovaném období

Z výsledků monitorování vyplývají velmi dobré provozní charakteristiky vícenásobného zdroje. V roce 2005 byla celková roční výroba elektrické energie vodní elektrárnou 810 MWh, zatímco celková spotřeba elektrické energie pro osvětlení, pohony TČ a čistírny

odpadní vody, vaření a dohřev teplé vody byla díky alternativním zdrojům energie pouze 295 MWh. Přebytek elektrické energie prodaný do veřejné sítě pro ostatní spotřebitele byl 515 MWh.

8. O autorovi návrhu

Návrh projektu soběstačného zásobování rekreačního a výukového střediska energiemi je prací doc. Karla Brože, který své dílo ani po letech neopustil a stále se k němu vracel, navrhoval další možnosti využití energetického zdroje pro výukové a výzkumné účely, monitorování, vyhodnocování a publikování jako jednu z nejdůležitějších cest propagace alternativních zdrojů energie.

Doc. Ing. Karel Brož, CSc. se narodil 18. 8. 1939. Svě mládí prožil v jihočeských Netolicích, studoval na Vyšší průmyslové škole strojnické v Českých Budějovicích a po absolvování oboru vzduchotechnika a vytápění na Fakultě strojní ČVUT v Praze (1962) pracoval kratší dobu v tehdejší závodech Tatra, Praha - Smíchov.

V roce 1964 nastoupil na Katedru techniky prostředí fakulty strojní ČVUT jako asistent a od té doby je jeho profesionální dráha s tímto pracovištěm úzce spojena. I v době svého působení ve výzkumných ústavech v letech 1987 až 1993 (v Ústavu pro výzkum a využití paliv Praha-Běchovice a později ve Výzkumném ústavu energetickém Praha-Běchovice) přednášel na Fakultě strojní i stavební ČVUT v Praze jako externí učitel a podílel se na činnosti katedry techniky prostředí fakulty strojní.

V roce 1993 se vrátil trvale na fakultu strojní, kde jako habilitovaný docent na Ústavu techniky prostředí přednášel a vedl výuku v předmětech Zásobování teplem, Vytápění, Potrubní systémy, Alternativní zdroje energie. Kromě výuky v inženýrském a bakalářském studiu se soustředěně věnoval i výchově vědeckých pracovníků a ocenění si zasloužil skutečností, že první dva doktoráty v oboru techniky prostředí byly uděleny právě postgraduálním studentům pod vedením docenta Brože.

Kromě uvedené pedagogické práce, pro kterou vypracoval několik skript (z nichž uvádím Zásobování teplem, Vytápění, Teplárenství a tepelné sítě), se intenzívně věnoval vědecko-výzkumné činnosti, kde byl autorem mnoha úspěšně realizovaných studií a projektů. Tématiku těchto prací volil vždy velmi prozíravě, takže v různých směrech se staly jeho práce zcela novými, původními řešeními, která ukázala směr dalšímu vývoji.

Právě na první místo lze zařadit výše popsany návrh a realizaci energetického zdroje pro výukové středisko ČVUT v Herbertově. Docent Brož patřil i k prvním autorům, zabývajících se uplatněním výkonných tepelných čerpadel pro využití odpadního tepla (např. v závodech na zpracování celulózy v Ružomberoku). Mezi další, původní práce patří i vývoj výkonové řady tepelných čerpadel voda-voda a vzduch-voda, vývoj kombinovaných koncentrujících kolektorů slunečního záření i návrh a zajištění realizace hybridního solárního kolektoru (kapalina, vzduch). V posledních letech se podílel na návrhu energetického zásobování první České antarktické stanice Johanna Gregora Mendela na ostrově James Ross, vynikající především téměř 80% úsporou kapalných paliv využitím obnovitelných zdrojů energie. Za spoluúčasti svých postgraduálních studentů, úspěšně vyřešil řadu grantových projektů (výměníky tepla pro tepelná čerpadla, tepelné ztráty potrubí uloženého v zemi).



Obr. 35 Karel Brož se na Herbertov rád vracel a doslova se o něj staral

Rozsáhlá byla činnost docenta Brože i v odborných organizacích a radách. Dlouhodobě aktivně působil v redakční radě oborového časopisu VVI, kde byl hlavním garantem a iniciátorem publikací z oboru tepelné techniky a alternativních zdrojů energie. Docent Brož byl členem, resp. předsedou výběrových komisí grantových projektů alternativních zdrojů energie na ministerstvu životního prostředí a na ministerstvu průmyslu a obchodu (České energetické agentuře). Byl zakládajícím členem Česko-slovenské společnosti pro sluneční energii, národní sekce Mezinárodní společnosti pro sluneční energii (ISES). V roce 1998 inicioval založení odborné skupiny Alternativní zdroje energie ve Společnosti pro techniku prostředí.

Své bohaté pedagogické, vědecké i praktické zkušenosti publikoval jako autor v 173 publikacích (monografiích, statích, výzkumných zprávách, skriptech) a jako spoluautor v dalších 34 publikacích.

Uvedený výběr z činnosti docenta Brože je jistě zjednodušující, ukazuje však na široký záběr jeho odborných aktivit a současně i na důslednost v přístupu k realizacím a ověřování teoretických řešení. Docent Brož přinesl naší technické veřejnosti řadu nových poznatků a ve svých přednáškách, konzultacích pro studenty, i pro odborníky v praxi prokázal dokonalou schopnost řešit i často komplikované problémy. K tomu přispěly rovněž jeho osobní vlastnosti, velmi dobrý vztah k spolupracovníkům i všem, kteří měli příležitost se s ním osobně setkat. Když koncem ledna 2008 podlehl zákeřné nemoci, zanechal po sobě mezeru, ale i své nástupce, kteří pokračují v jeho práci.

9. Závěrem

Vícenásobný energetický zdroj ve výukovém středisku v Herbertově je nejen jednou z prvních vlašťovek využití alternativních zdrojů energie v naší zemi, ale v tehdejší evropském kontextu šlo o ojedinělé koncepční řešení navzájem provázaných zdrojů. Pro své využití, tehdy prakticky neznámých, tepelných čerpadel, byl při návštěvách výukového střediska obdivován širokou odbornou veřejností. A to i odborníky z celé Evropy, kteří tepelná čerpadla, zde využitá pro běžné vytápění objektu, znaly spíše z laboratorních testů.

Slovy doc. Brože lze o Herbertově říci, že „nejde o energeticky úsporný objekt, ale o energeticky výhodný ...“. Přestože objekt z dnešního pohledu nesplňuje parametry z hlediska

energetické náročnosti, přesto se i nadále řadí mezi ojedinělé bezemisní energeticky a ekonomicky plusové instalace v Evropě.

Celý systém, který se ve své době bohužel rodil za nepochopení lidí, kteří o něm rozhodovali, nakonec jeho tvůrce doc. Ing. Karel Brož, CSc. prosadil. Ač ho to stálo nemálo energie a přesvědčování a dokonce i osobní oběti, dále se svému dílu věnoval a byl hybnou silou všech potřebných rekonstrukcí. Poslední provedená rekonstrukce prodloužila podstatně životnost většiny částí zdroje a zajistila minimálně na dalších 10 let jeho funkci. Navíc je zdroj pod neustálou kontrolou a případné zhoršování provozu jednotlivých součástí by mělo být včas zachyceno. V současné době tak má strojní fakulta k dispozici areál s ojedinělým a soběstačným energetickým zásobováním, o který stojí za to pečovat.

10. Literatura:

- [1] Vyšebrodská elektrická dráha, <http://spz.logout.cz/trate/lipno.html>
- [2] Výukové středisko Fakulty strojní Českého vysokého učení technického v Praze Herbertov - Horní Mlýn, <http://www3.fs.cvut.cz/web/index.php?id=herbertov&L=0>
- [3] Šťastná, J.: Dům v Herbertově, EKO Journal, roč. V, č. 11, str. 9-10, 1996, kzt s.r.o., ISSN 1210-0781.
- [4] Brož, K., Haškovec, L.: Optimalizovaný vývoj Winstonova kolektoru slunečního záření. Zdravotní technika a vzduchotechnika č. 2, roč. 1981, str. 89 - 104. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- [5] Brož, K.: Sorbnávací měření plochých deskových kolektorů a zrcadlového koncentrátoru slunečního záření. Zdravotní technika a vzduchotechnika č. 6, roč. 1982, str. 321 - 334. Nakladatelství ČSAV, Praha.
- [6] Šourek, B., Matuška, T.: Solární laboratoř na Ústavu techniky prostředí fakulty strojní ČVUT v Praze, Alternativní energie. 2007, roč. X, č. 4, s. 18-19. ISSN 1212-1673.
- [7] GA ČR 101/95/0703 "Ověření přechodu na nové, ekologicky přijatelné teplotnosné látky v oboru strojního chlazení a přečerpávání tepla v ČR", 1995-1997 (řešitel Doc. Brož).
- [8] Brož, K.: A Multiple Energy Source for Heating. Proceedings of Regional Consultations RIO + 5 World Congress on Sustainable Development. Tallinn (Estonia), January 25 27, 1997. 9 ps.
- [9] Bila, J., Brož, K., Jirovsky, V., Rodic, H.: Monitoring System for Distributed Energy and Heat Complex. 5th World Congress „Building Energy Simulation BS'97 in Prague“ Proceedings, CTU Prague, 1997. Part II, pp. 237 - 243.
- [10] Brož, K.: Vícenásobný energetický zdroj ČVUT - FS v Herbertově, 16 let provozu. In: Sborník Obnovitelné zdroje energie. Praha: ČENES - Česká energetická společnost, 1998, s. 143-147.
- [11] Experimentální výuka úspor energie z alternativních zdrojů, projekt Fondu rozvoje ČVUT č. 35022015, 1995; č. 32 96 007, 1996; č. 32 97 005, 1997 (nositel doc. Brož).
- [12] Zálešák, M.: Zpráva o energetickém auditu – Školící středisko ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Horní Mlýn 15, 382 73 Vyšší Brod - Herbertov, červen 2002.
- [13] Centrum CŽV v oblasti alternativních zdrojů energie, projekt MŠMT č. 505302 (nositel doc. Brož)
- [14] Monitorovací systém centra alternativních zdrojů energie. On-line monitoring přístupný z <http://pck338-48.feld.cvut.cz/herbertov/vizualizace.php>