

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Fotovoltaické elektrárny - trackovací systémy

**vedoucí práce: Ing. Martin Sirový
autor: Michal Grametbauer**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Michal GRAMETBAUER
Osobní číslo: E09B0123P
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Komerční elektrotechnika
Název tématu: Fotovoltaické elektrárny - trackovací systémy
Zadávající katedra: Katedra technologií a měření

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište současné trendy v oblasti fotovoltaických mikro-elektřáren.
2. Srovnajte trackovací systémy pro FVE z technického hlediska, převším pak z pohledu dosahované účinnosti a technologické náročnosti.
3. Srovnajte trackovací systémy pro FVE z ekonomického hlediska.
4. Vypracujte případovou studii.



Anotace

Tato práce se zabývá problematikou moderních fotovoltaickým systémům, možnostmi jejich použití a zejména pak jejich řízení. Zaobírá se jak teoretickou částí, ve které rozebírá problematiku solárních trackovacích systémů, tak i praktickou částí, v nichž popisuje postup při instalaci systému a řešení problémů které nastaly. Součástí práce je prezentace vyvinutého výukového pracoviště včetně dosažených výsledků ověřujících funkčnost systému.

Klíčová slova

Fotovoltaická elektrárna, sledovač, solární tracker, programovatelný logický automat, PLC, Unitronics, VisiLogic, Vision

Abstract

This work deals with modern photovoltaic systems, possibilities of their use, and especially their management. In the theoretical part it examines the issue of solar tracking systems. The practical part describes how to install and troubleshoot the system. The work is a presentation developed by the educational department, including the results verifying system functionality.

Keywords

Photovoltaic power, tracker, solar tracker, programmable logic controller, PLC, Unitronics, VisiLogic, Vision

Prohlášení

Předkládám k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 31.5.2012

Michal Grametbauer

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Sirovému za profesionální přístup a spolupráci při řešení problémů.

Práce vznikla s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci projektu FRVŠ G1 1207/2011a s podporou projektu SGS-2012-071.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 MODERNÍ KONCEPCE FV SYSTÉMŮ	11
1.1 DRUHY KONSTRUKCÍ	11
1.1.1 Horizontální jednoosý tracker	11
1.1.2 Vertikální jednoosý tracker	12
1.1.3 Skloněný jednoosý tracker	12
1.1.4 Tip-tilt dvouosý tracker	12
1.1.5 Azimut-altitude dvouosý tracker	13
1.2 PRINCIP SLEDOVAČŮ	13
1.2.1 Sledovače na principu hodinového strojku	14
1.2.2 Sledovače na princip teplotní roztažnosti plynu	14
1.2.3 Sledovače na princip tvarové paměti některých slitin (NiTi)	14
Sledovače na princip diferenciálního porovnání intenzit slunečního záření (aktivní trackery s čidlem osvětlení)	15
1.3 TYPY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ	16
1.3.1 Monokrystalické články	16
1.3.2 Polykrystalické články	16
1.3.3 Amorfní články	17
1.3.4 Tenkovrstvé články	17
1.3.5 Články MIS	17
1.3.6 Články z PN sloučenin	17
1.4.1 Použití oboustranných fotovoltaických modulů	18
1.4.2 Koncentrátory	18
1.4.3 Zrcadlové koncentrátory s rovinným zrcadlem	19
1.4.4 Zrcadlové koncentrátory s parabolickým zrcadlem	19
1.4.5 Fresnelovy čočky	20
2 ZHODNOCENÍ POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ VZHLEDEM K ÚČINNOSTI	20
3 EKONOMICKÝ ROZBOR	22
4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU PRO VÝUKOVÉ ÚČELY	22
4.1 KONCEPCE SYSTÉMU	23
4.2 POUŽITÝ HARDWARE	25
4.2.1 Fotovoltaické panely	25
4.2.2 Pohon trackerů	26
4.2.3 Akumulátory	26
4.2.4 Solární regulátory nabíjení	27
4.2.5 Měnič vlastní spotřeby	28
4.2.6 Grid-on měnič	29
4.2.7 Multimetr	30
4.2.8 Ovládací a měřicí prvky	30
5 IMPLEMENTACE TRACKOVACÍHO SYSTÉMU	33
5.1 HARDWAROVÁ ČÁST	33
5.2 SOFTWARE	36
5.3 SOFTWARE VISION V280	36
5.3.1 Úprava uživatelského rozhraní (HMI)	36
5.3.2 Rozšíření automatického režimu	37
5.3.3 Ochrana manuálního režimu před odpojením	39

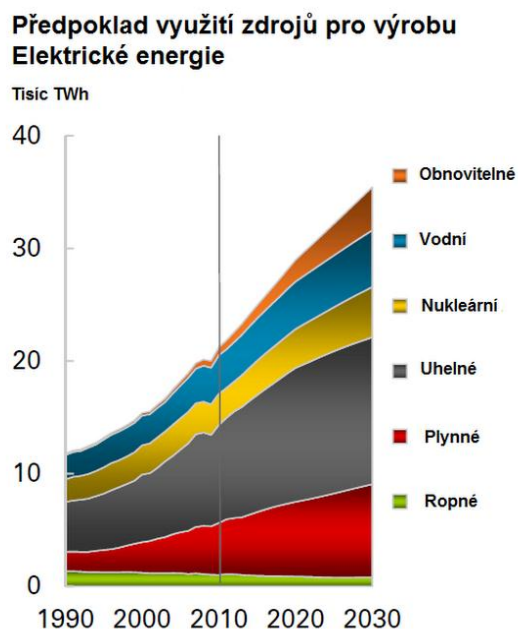
5.3.4	<i>Ukládání a načítání stavu relé</i>	40
5.3.5	<i>Archivace a prohlížení dat</i>	41
5.3.6	<i>Odesílání a přijímání dat</i>	43
5.4	SOFTWARE VISION130.....	44
5.5	MĚŘENÍ A POROVNÁNÍ TRACKERŮ	45
5.6	NÁVRH NA PŘESTAVBU	46
6	ZÁVĚR	47
	POUŽITÁ LITERATURA	48
	SEZNAM PŘÍLOH	49

Úvod

Úbytek neobnovitelných zdrojů a jejich vysoká cena je v současné době velmi diskutované téma nejen v odborných kruzích, ale také v široké populaci. Neobnovitelné zdroje, jsou dnes spotřebovávány mnohem rychleji, než je doba potřebná k jejich vytvoření. Většina studií zabývajících se touto problematikou došlo k jednotnému názoru. Jedinou možností pro udržení rozvoje civilizace je využití obnovitelných zdrojů energie [1], [14]. Jak je patrné ze studie společnosti BP zobrazená na obr. 0.1 se podíl obnovitelných zdrojů na celosvětové výrobě elektrické energie bude nadále zvyšovat.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl prostudovat a vypracovat práci, týkající se obnovitelných zdrojů. Přesněji jsem se zaměřil na Fotovoltaické trackovací systémy. Navíc mi bylo umožněno spolupracovat na projektu při ZČU. Tento projekt se zabývá instalací Fotovoltaického trackovacího systému.

Poznatky a měření z tohoto projektu jsem použil na vypracování studie, která se zabývá rozdílem mezi statickým systémem, který je již déle instalován na budově ZČU a tímto novým pohyblivým systémem. Dále jsem do studie zahrnul porovnání různých technologických postupů při výrobě panelů.



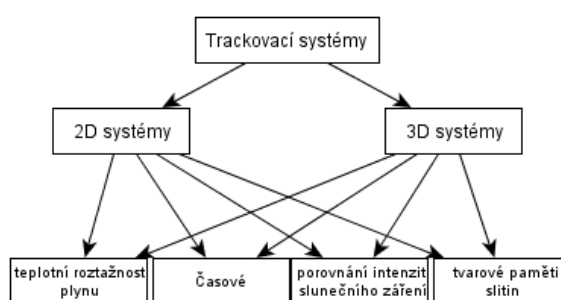
Obr. 0.1 Předpoklad využití zdrojů pro výrobu elektrické energie [14]

Seznam symbolů a zkratek

FVE	Fotovoltaická elektrárna	
PLC	Programmable Logic Controller	Programovatelný logický automat
HMI	Human Machine Interface	Uživatelské rozhraní člověk-stroj
R/W	Read/Write mix	Čtení a Zápis dat
PT100	platinové odporové teplotní čidlo, R=100Ω	
MODBUS®	komunikační protokol	
TCP/IP	komunikační protokol	
MI	Memory Integer	
ML	Memory Long	
MB	Memory Bit	
TD	Timer On Delay	

1 Moderní koncepce FV systémů

Problematické pohyblivé konstrukce pro PV panely se v posledních letech začíná věnovat více pozornosti. Bereme-li v potaz, že kvalitní kolektory na bázi křemíku mají účinnost 18-20% s plochou kolektoru 1m^2 můžeme získat výkon $P_{\text{max}} = 200\text{W}_p$. Při šikmém dopadu tato účinnost klesá. Proto chceme-li udržet maximální výkon po celý den, musíme využít sledovacího zařízení tzv. trackovacích systémů. Tyto trackovací systémy se konstruují, buďto jako jednoosé systémy nazývané se 2D systémy nebo jako dvouosé systémy nazývané se 3D systémy (viz obr. 1.1). [1]



Obr. 1.1 rozdělení trackovacích systémů

1.1 Druhy konstrukcí

1.1.1 Horizontální jednoosý tracker

Tento systém patří mezi nejjednodušší a také nejlevnější pohyblivé systémy. Osa otáčení je vodorovně se zemí a měla by být orientována ve směru sever-jih. Ráno se panely natáčí na východ a postupně se pootáčejí na západ. Po západu slunce se panely natočí zpět do výchozí polohy. Tento systém je vhodný pro použití v rovníkových oblastech nebo v místech s malou zeměpisnou šířkou. Výhodou těchto systémů je jednoduchá konstrukce, řízení a možnost sdílení pohonu pro velké množství panelů (viz obr. 1.2) [4].



Obr. 1.2 Jednoosý horizontální tracker [7]

1.1.2 Vertikální jednoosý tracker

Osa otáčení tohoto systému je ve svislé poloze k zemi a taktéž se otáčí od východu k západu. Tento systém se nejvíce využívá ve větších zeměpisných šířkách, protože zde dosahují větší účinnosti než horizontální systémy. Je to zapříčiněno pohybem slunce, které nedosáhne v poledních hodinách nadhlavníku. U tohoto systému je větší problém s využitím prostoru a zabránění stínění, čímž dochází ke zbytečným energickým ztrátám. [4]

1.1.3 Skloněný jednoosý tracker

Tento systém je kompromisem dvou předešlých systémů. Osa otáčení směřuje šikmo k zemi. Díky vhodnému využití dvou předešlých technologií je tato konstrukce poměrně jednoduchá a má dobrou účinnost. Nevýhodou je zde opět prostorová náročnost a problém se vzájemným stíněním (viz obr. 1.3). [4]



Obr. 1.3 Skloněné trackery [7]

1.1.4 Tip-tilt dvouosý tracker

Má horizontální osu jako hlavní a vertikální osa je pomocnou. Toto řešení používá například firma Patriot Solar Group pro své malé trackery. Velkou výhodou je, že tento systém může být umístěn na menším prostoru ve větší hustotě a dokáže natáčet panely velmi přesně vůči slunci, ale problém nastává s rozložením váhy při otáčení. [4]

1.1.5 Azimut-altitude dvouosý tracker

Je systém s hlavní osou vertikálně a pomocnou osou horizontálně. I tento systém dokáže velice přesně natáčet panely vůči slunci ve velkém rozsahu, ale na rozdíl od předešlého má výhodu v rozložení váhy při natáčení. Nevýhodou toho systému je nutnost většího prostoru pro otáčení, aby nedocházelo k zastínění dalších konstrukcí.[4] Při volbě konstrukce musíme volit dle povětrnostních podmínek na místě předpokládané instalace systému.



Obr. 1.4 Dvouosý tracker DAGER 3000HD [6]

1.2 Princip sledovačů

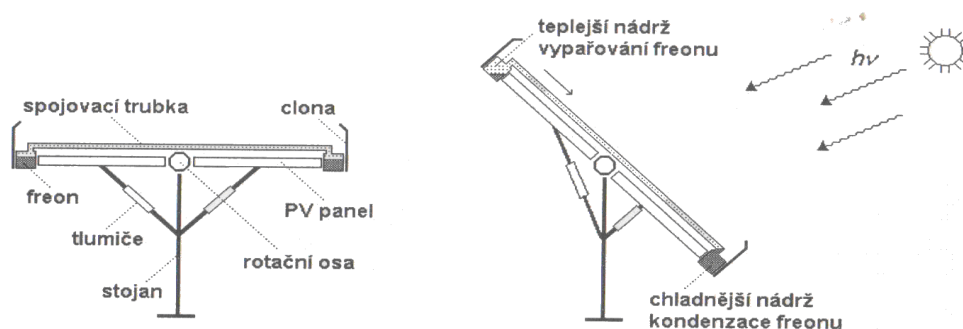
Sledovače jsou systémy, jejichž úkolem je sledovat zdroj nejintenzivnějšího záření. Některé principy se osvědčily, ale mnoho jich selhalo i přes dobrou funkci v laboratorních podmínkách. Hlavními parametry sledovačů jsou zejména umožnění maximálního energetického zisku po celý den, vhodnost použití v dané oblasti, vlastní spotřeba, odolnost konstrukce vůči povětrnostním vlivům, životnost, náročnost údržby a samozřejmě cena a tedy návratnost investice [1].

1.2.1 Sledovače na principu hodinového strojku

Tyto sledovače se řadí do skupiny tzv. pasivních sledovačů. Funkce je založen na principu hodinových strojků. Je využíván nejen ve fotovoltaice, ale také u astronomických dalekohledů. Velkým nedostatkem je technická složitost a cenová náročnost [1].

1.2.2 Sledovače na principu teplotní roztažnosti plynu

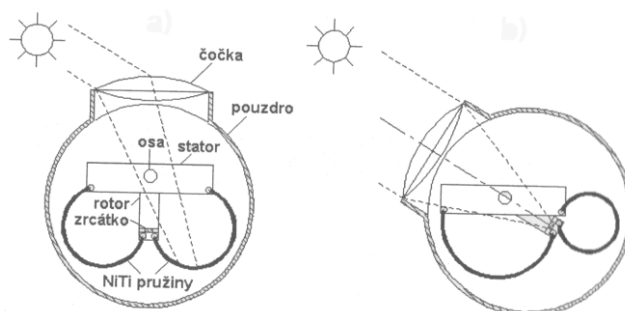
Tento způsob je založen na umístění dvou nádržek po stranách PV panelu. Tyto nádržky jsou propojeny trubicí a ze stran zakryty clonou. Tyto clony brání přímému dopadu slunečního záření. Záření tak dopadá na nádržku více vzdálenou od slunce a zahřívá ji (viz obr. 1.5). Zde se odpařuje plyn a kondenzuje se na nádržce bližší slunci. Tento způsob je velmi jednoduchý, ale přesnost je u nich horší. [1]



Obr. 1.5 Princip vypařování a kondenzace plynu [1]

1.2.3 Sledovače na principu tvarové paměti některých slitin (NiTi)

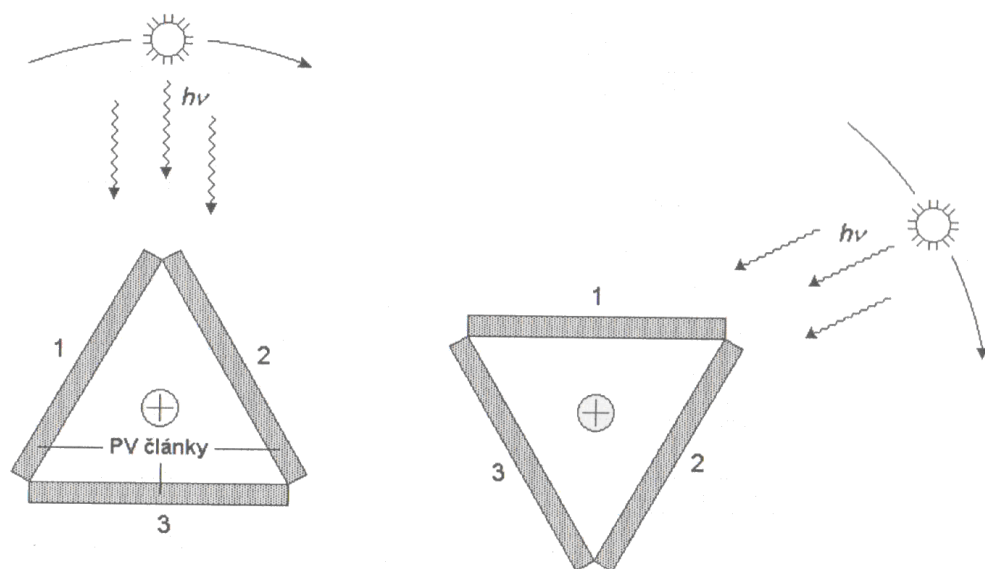
Tyto sledovače se řadí do skupiny tzv. aktivních sledovačů. Funkce je založen na principu tvarové paměti slitin. Jejich použití v našich podnebných podmínkách je znemožněno zimním obdobím (viz obr. 1.6) [1].



Obr. 1.6 Princip sledovače na principu pružin z pamětových slitin [1]

Sledovače na princip diferenciálního porovnání intenzit slunečního záření (aktivní trackery s čidlem osvětlení)

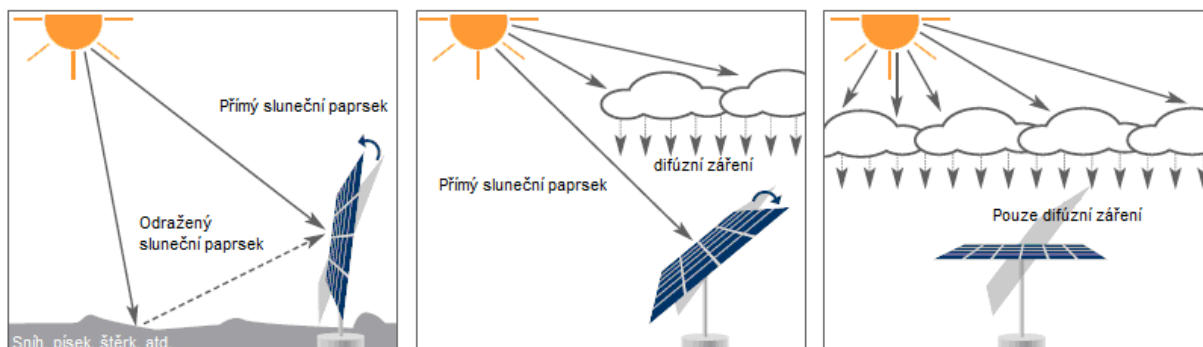
Tyto sledovače se řadí do skupiny tzv. aktivních sledovačů. Funkce je založen na porovnávání signálu neboli okamžitých výkonu z malých PV článků, které jsou vůči sobě pootočený o určitý úhel. Na obr. 1.7 je schéma sledovače se 3 PV články. Signály z jednotlivých PV článků vyhodnocuje řídicí elektronika, která dává povely motorům pohybujícím solárním systémem. Řídicí elektronika nastavuje polohu solárního systému tak, aby na PV články 1 a 2 dopadalo stejné množství slunečního záření a na PV článek číslo 3 byla intenzita menší. U našeho výukového modelu používáme tuto technologii sledovače od firmy Dager Energie. Má velkou výhodu ve velmi přesném sledování zdroje záření a navíc při zatažené obloze dokáže řídicí elektronika zareagovat a nastaví solární systém pro sběr difúzního záření.



Obr. 1.7: Princip diferenciálního porovnání intenzity slunečního záření[1]

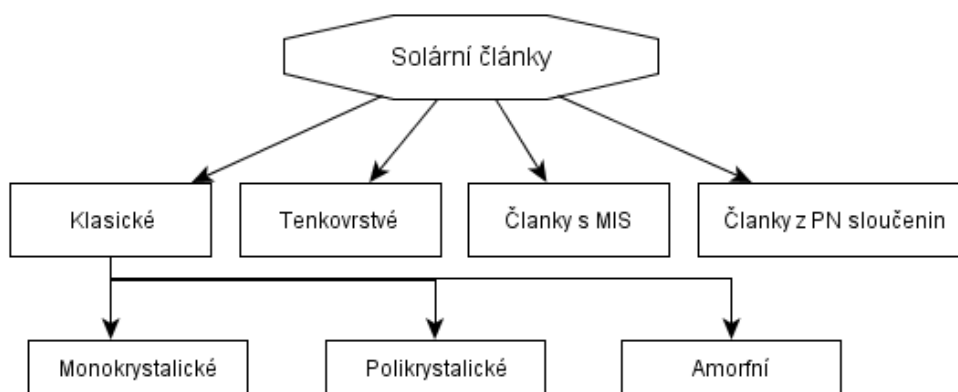
Tento systém má menší nevýhodu ve větší spotřebě energie než systémy patřící do skupiny pasivních sledovačů pracující na principu hodinového strojku. Tento systém má pro úsporu energie pohyb panelů v určitých krocích. Velkou nevýhodou tohoto systému je, že sleduje trajektorii slunce, která je vypočtena z času a známé polohy slunce na obloze v každý jednotlivý den v roce. Pokud tedy nastanou zvláštní světelné podmínky vlivem odrazu záření od mraků nebo sněhové pokrývky, nedokáže natočit zařízení přímo k nejjasnějšímu bodu (viz obr. 1.8). V těchto podmínkách dokáží trackery s čidlem osvětlení reagovat a získat mnohem

větší množství energie. Výrobce udává zvýšení získané energie u tohoto systému oproti systému řízenému tzv. hodinovým strojkem až o 27%. [2]



Obr. 1.8 Rozdíl mezi sledovači a hodinovými strojkami [2]

1.3 Typy solárních článků



Obr. 1.9 rozdělení typů solárních článků [3]

1.3.1 Monokrystalické články

Vyrábějí se z monokrystalického křemíku, který je složen z vysoce čistého materiálu. U těchto článků lze dosáhnout vysokých hodnot účinnosti, které se v praxi pohybují kolem 18-20 % [3].

1.3.2 Polykrystalické články

Užívají polykrystalický materiál, který je mnohem lacinější. Mezi jejich další přednost patří lepší absorpce difúzního záření. Nehledě na tyto výhody mají tyto články dle odborné literatury zřetelně menší účinnost pohybující se kolem 11 až 13% [3].

1.3.3 Amorfnní články

Mají řadu předností oproti předcházejícím technologiím výroby. Nejdůležitější jsou: malá spotřeba materiálu, malá spotřeba energie při výrobě a velké možnosti automatizace procesů výroby. Dosahovaná účinnost se ale pohybuje kolem 7 % [3].

1.3.4 Tenkovrstvé články

Tyto články jsou nejběžněji vyrobené z amorfnního křemíku. Díky velmi malé tloušťce v řádech několika μm spotřebují malé množství materiálu a podstatně méně energie při výrobě. Protože mají velmi malý p-n přechod, dokážou lépe využívat dopadající světelné záření. Jejich účinnost dosahuje až 14 % [3].

1.3.5 Články MIS

Články s inverzní vrstvou MIS (kov-izolátor-polovodič) mají přechod p-n indukovaný podobně jako je tomu u tranzistorů. Tyto články dosahují v laboratoři účinnost až 15 % [3].

1.3.6 Články z PN sloučenin

Arsenik galia (GaAs) se řadí mezi monokrystalické tenkovrstvé typy. Hlavní výhody jsou vysoká účinnost 20% (vhodnou kombinací GaAs a krystalického křemíku lze dosáhnout až 30% účinnosti), větší odolnost vůči kosmickému záření a schopnost pracovat i při teplotách nad 100 stupňů Celsia. Nevýhodou je velmi vysoká cena [3].

Sulfid kademnatý (CdS) tyto články dosahují účinnost 10% a jejich velkou výhodou je malá hmotnost díky čemuž se používaly v kosmických aplikacích. Nevýhodou je malá stabilita těchto článků a dnes se již nepoužívají [3].

1.4 Zvyšování produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů

Navýšit objem vyrobené energie fotovoltaickými panely lze jak úpravami samotných panelů, tak způsobem jejich instalace. Ve způsobu výroby lze použití antireflexní vrstvy pro zmenšení odrazu záření. Další možností je použití oboustranných fotovoltaických modulů. Při instalaci fotovoltaických panelů je možné je doplnit koncentrátory slunečního záření a natáčecími zařízeními. Samostatné použití koncentrátoru má negativní aspekty, které mohou být natáčením panelů sníženy. Koncentrátor omezuje úhel, ze kterého je pohlcováno záření

a snižuje možnost zachycovat difúzní záření při oblačné obloze. Proto je s výhodou doplňován sledovačem Slunce, který zajišťuje optimální natáčení fotovoltaických modulů za Sluncem. [5].

1.4.1 Použití oboustranných fotovoltaických modulů

Oboustranné (bifaciální) fotovoltaické panely na bázi krystalického křemíku jsou průhledné pro fotony s vlnovými délkami většími než cca $\lambda > 1100\text{nm}$ (infračervené/tepelné záření). Zadní strana oboustranných panelů není tvořena plochou, ale hřebínkem nebo mřížkou a nachází se zde transparentní folie. Na oboustranný panel mohou tedy fotony dopadat z obou stran. Druhou stranou dopadu se rozumí odraz například ze země. Vyšší účinnost oboustranných panelů závisí na odrazivosti materiálu, na kterém jsou panely umístěny. Je vhodné použít křemenný písek nebo beton. Účinnost na zadní straně je nižší, protože fotony o kratších vlnových délkách jsou pohlceny dříve, než dorazí k p-n přechodu. Rozdíl vyšší ceny těchto panelů je proti ceně panelů jednostranných zanedbatelný. Velkou výhodou těchto panelů je možnost prostupnosti fotonů o vlnové délce $\lambda > 1100\text{nm}$ (infračervené/tepelné záření) což způsobuje znatelně menší zahřívání panelů a tím se zvyšuje nejen jejich účinnost, ale také jejich životnost [5].

1.4.2 Koncentrátory

Koncentrátory slouží k soustředění slunečního záření na povrch fotovoltaických modulů, čímž zvyšují množství využití energie celým systémem. Použitím koncentrátorů se zmenší interval hodnot úhlu, ze kterého jsou schopny zachytit sluneční záření. Platí, že s rostoucí hodnotou koncentrace se snižuje hodnota úhlu, ze kterého je záření odebíráno. Koeficient koncentrace udává, kolikrát je intenzita slunečního záření v daném místě vyšší než hodnota intenzity záření dopadajícího na povrch koncentrátoru. Hlavním nedostatkem koncentrátorů je problém s nadměrným zahříváním panelů způsobeno větším množstvím dopadající světelné energie a tím k rychlejší degradaci panelů. Další nedostatek koncentrátorů je nutnost časté kontroly těchto systémů, aby nedošlo k jejich znečištění a tím zamezení jejich správné funkce. [5]

1.4.3 Zrcadlové koncentrátoři s rovinným zrcadlem

Vhodnost použití rovinných zrcadel, které jsou nenáročně na výrobu, snižuje jejich nízká schopnost koncentrace. Proto se použití rovinného zrcadla kombinuje s oboustrannými fotovoltaickými panely nebo s natáčecím zařízením [5].



Obr. 1.10 Zrcadlový koncentrátor s rovinným zrcadlem [7]

1.4.4 Zrcadlové koncentrátoři s parabolickým zrcadlem

Parabolické zrcadlo podstatně zvyšuje koncentraci záření, ale tento jev je doprovázen zahříváním solárních panelů, což se negativně projevuje na jejich výkonu. Z toho důvodu se současně s parabolickým zrcadlem používá systém chlazení. Zajímavým příkladem je k chlazení využít vodu a získanou ohřátou vodu dále použít. Vedle nutnosti chlazení je potřeba také natáčet parabolické zrcadlo v závislosti na pohybu Slunce [5].



Obr. 1.11 Zrcadlový koncentrátor s parabolickým zrcadlem [7]

1.4.5 Fresnelovy čočky

Fresnelova čočka sestává z hranolů o různých úhlech lomu. Touto úpravou vzniká schopnost soustředit odražené paprsky do jedné oblasti. Protože hranoly vytvořené na čočce netvoří souvislou plochu, může mít každý úhel vytvořený hranolem odlišný sklon. Tvar čoček je plochý, proto jsou s výhodami využívány jako tzv. mikrokoncentrátory v aplikacích, které vyžadují málo objemné a tenké čočky. Pomocí Fresnelovy čočky lze dopadající záření zobrazovat buď do pasu určité šířky, nebo do ostrůvku [5].

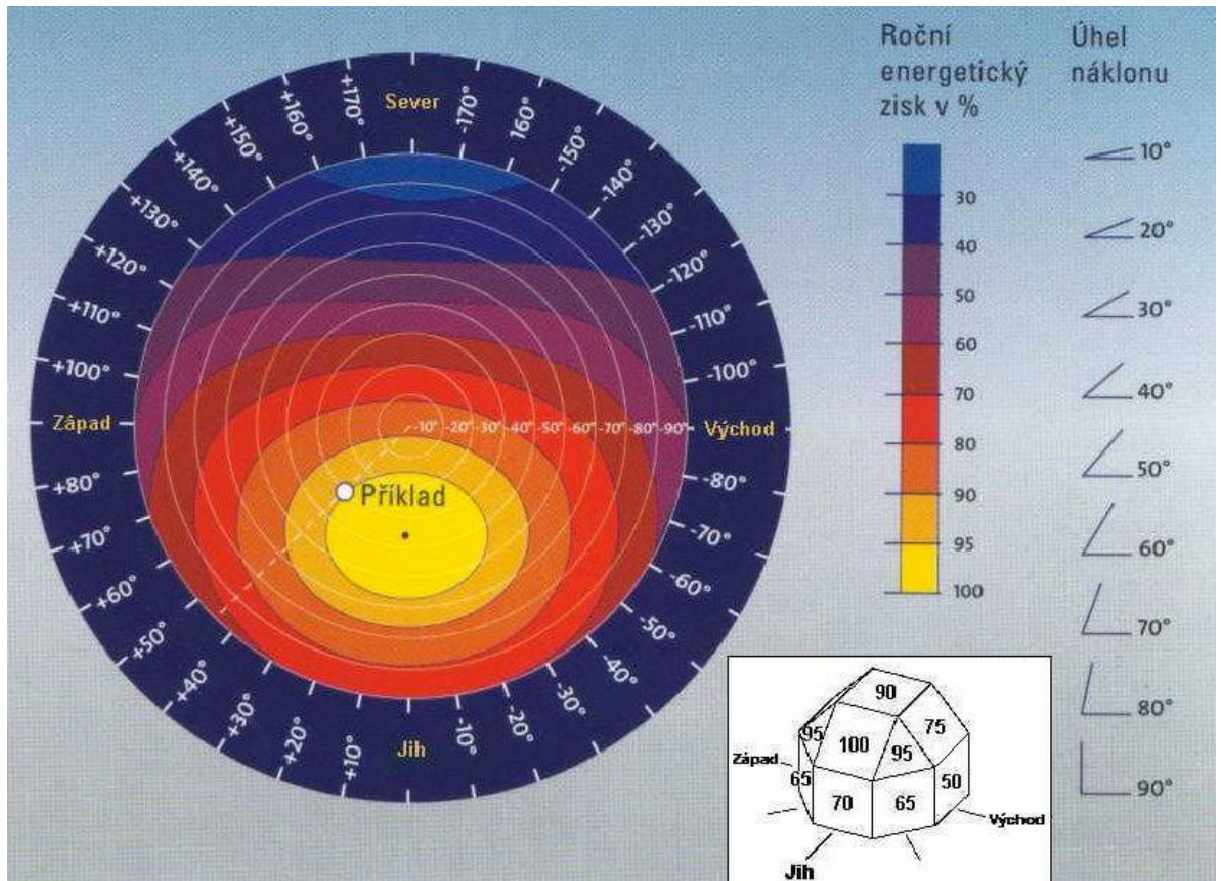


Obr. 1.12 koncentrátor s Fresnelovými čočkami [7]

2 Zhodnocení použitých technologií vzhledem k účinnosti

Sluneční světlo se skládá z tzv. "přímého slunečního světla" a "difúzního Slunečního světla". Za jasného dne "přímé sluneční světlo" nese asi 90% sluneční energie a "difúzní sluneční světlo" nese zbytek energie. "Difúzní sluneční světlo" zvyšuje podíl na přenášené energii při oblačném počasí. Většina energie je v přímém paprsku, což vyžaduje, aby slunce dopadalo na panely v maximální možné době. [4]

Množství energie z přímého slunečního světla, která lze přeměnit v panelech klesá s cosinem úhlu mezi dopadajícího přímým paprskem a panel. Jak je zřejmé z obr. 1.13 největší množství energie je využito při kolmém dopadu. [4]



Obr. 1.13 energetický zisk při různém úhlu dopadu [7]

K zamezení vzniku úhlu i se využívají sledovače slunce tzv. trackery. Slunce se pohybuje během dne od východu k západu a viditelná část tohoto pohybu je 180 stupňů. Solární panel v pevné orientaci mají nejmenší využití solární energie při východu či západu slunce. Při těchto denních extrémech dopadá přímý paprsek pod uhem asi 75 stupňů po dobu zhruba 5 hodin. Z těchto údajů je zřejmé, že statické panely nevyužívají maximální množství solární energie po velmi početnou část dne. Nevýhodou jednoosých trackerů je složitější konstrukce a nutnost pohonu pro otáčení, ale když vezmeme v potaz navýšení množství využití solární energie až o 24 - 32% [4] (v některých zdrojích udáváno až 45% [1][2]) a navíc při zatažené obloze kdy hlavní energetickou složkou je difúzní záření je to až o 100% se tato investice navrátí. [4]

Další ztráty vznikají při celoročním pohybu slunce sever-jih. Zde dochází k posunu o 46 stupňů. Umístěním konstrukcí mezi maxima severu a jihu nám dá odchylku 23 stupňů. Tento nedostatek lze vyřešit pomocí dvouosých trackerů. Nevýhodou je bezpochyby o něco větší technologická náročnost než je tomu u jednoosých trackerů, ale dvouose trackery lze navíc doplnit koncentrátory, které pomohou k navýšení množství energie dopadající na panely. [4]

3 Ekonomický rozbor

U fotovoltaických systémů je nejčastější a také nejdůležitější otázkou jakou má tento systém finanční návratnost. Tato otázka je velmi komplikovaná a velice záleží na aktuálních výkupních cenách energie a také na možnosti umístění konstrukcí.

U statických systémů není takový problém s jejich umístěním, protože nevyžadují tolik prostoru. Nejvhodnější možné umístění statických panelů je přímá jižní orientace plochy panelů (drobné odchylky na východ nebo západ v řádech 10-25° však nepřinášejí citelný úbytek výkonu FVE). Vůči vodorovné ploše by v našich podmínkách panely měly zaujímat úhel cca 35°. Při této vhodné orientaci je dle našich dodavatelů finanční návratnost 5-7 let [10][11][12]. Pro vhodnou volbu orientace v různých částech Evropy dodavatelé doporučují využití internetového systému PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>).

U trackovacích zařízení se pořizovací částka pohybuje výše a dalším problémem tohoto systému je potřeba většího prostoru a také náročnější údržba. Proto se tyto systémy většinou využívají u fotovoltaických elektráren. Dle informací od dodavatele našeho trackovacího zařízení DegerEnergie je cena jednoho systému trackovacího v rozmezí 10-15 tis. Samozřejmě ceny se budou lišit dle použité technologie a také podle zvoleného dodavatele. Jejich finanční návratnost se shoduje se statickými panely. Je to zapříčiněno nutností větší prvotní investice [10][11][12].

4 Návrh fotovoltaického systému pro výukové účely

Mým úkolem bylo postavit a uvést do provozu fotovoltaický trackovací systém. Tento systém byl integrován do předešlého projektu fotovoltaických statických systémů, který vytvořili kolegové Jirotko a Partyngl. Tyto systémy jsou řízené pomocí programovatelného logického automatu (PLC), který umožňuje měření jednotlivých veličin celého systému přeměny slunečního záření v elektrickou energii. Moderní PLC s grafickým uživatelským rozhraním (HMI) zároveň poslouží k výuce automatizační techniky. Celé zařízení bylo navrženo pro možné srovnání jednotlivých technologií pro přeměnu sluneční energie na elektrickou energii. A to nejen porovnání mezi statickými a trackovacími systémy, ale také mezi různými druhy panelů. Všechny naměřené údaje jsou uloženy nejen v paměti PLC, ale také jsou ukládány na SD kartu pro snazší manipulaci.

4.1 Koncepce systému

Celý systém je rozdělen do 3 hlavních částí: První část je umístěna na střeše budovy kateder FEL. Tato část se skládá ze 2 statických a 2 trackovacích konstrukcí. Na každé statické konstrukci je umístěna dvojice monokrystalických panelů zapojených paralelně. Na trackovací konstrukce jsme umístili rozdílné druhy panelů pro srovnání. Na jedné trackovací konstrukci jsme umístili monokrystalický panel a na druhou jsme umístili polykrystalický panel. Pro objektivní porovnání jsme oba panely koupili od téže firmy. Na hlavní rozvodní skříni 1 části, která je upevněna na jednu ze statických konstrukcí, je umístěno teplotní čidlo PT100 pro porovnání výstupního výkonu při různých teplotách.

Druhá část je umístěna v učebně EK703. Bylo zde nutné umístit pomocné PLC Vision130 kvůli vzdálenosti ze střechy do učebny EL205, kde se nachází řídicí PLC Vision280. Díky této vzdálenosti, by bylo měření napětí a teplot, vlivem úbytku na kabelu, velice nepřesné.

Pomocné PLC Vision130 dříve sloužilo pouze pro měření napětí panelů a teploty. V nové koncepci bylo rozšířeno o funkci archivace dat na SD kartu. Komunikaci s hlavním PLC je zprostředkováno pomocí Ethernetu TCP/IP.

Do třetí části, která je umístěna v učebně EL205, je sveden výstupní výkon jednotlivých panelů pomocí kabelu CYKY 7x4. V mém projektu tato část bohužel neprošla inovací, takže je zde systém prozatím připraven pro snímání jen dvou konstrukcí. Nyní jsou zde zapojeny trackovací konstrukce na nichž probíhá měření proudů jednotlivých stringů. Dále v této části měříme napětí baterií, střídavý výkon dodávaný a odebíraný ze sítě.

PLC Vision280 řídí spínací prvky a ty dále připojují jednotlivé zátěže na panely. Jako zátěž je možno zapojit 3 různé segmenty přičemž je stále možno rozlišovat mezi jednotlivými stringy.

První z druhů zátěží jsou 4 regulátory nabíjení, sloužící k nabíjení 2 sériově zapojených olověných akumulátorů. Při zapojení této zátěže můžeme mluvit o tzv. Ostrovním systému. Na nabité akumulátory je připojen malý střídač, který zajišťuje interní síť a napájení PLC je vedeno přímo z akumulátorů.

Dalším z druhů zátěží jsou grid-on měnič které dodávají výkon z panelů přímo do sítě. Bohužel původní grid-on měnič byl vadný a nové nebyly dodány, takže tato funkce je prozatím nedostupná.

Poslední možností je připojení zátěže zvolené uživatelem. Tuto zátěž lze připojit přímo na panely pomocí svorek, které jsou umístěny na dveřích rozvaděče. Napájení prvků v rozvaděči je nejen možné pomocí interní sítě, o které jsem psal v ostrovním systému, ale také pomocí externí sítě 230V/50Hz. Zařízení je schopné pracovat nejen v ostrovním režimu pomocí akumulátorů, ale také pomocí externí sítě, čímž může být vyřešeno napájení při odpojení akumulátorů nebo v noci.

Chování Automatického řídicího systému má několik nadefinovaných druhů chování, aby bylo vyhověno požadavkům uživatele. Pokud uživatel má specifické nároky je samozřejmě možné automatický systém vypnout a nastavit zařízení dle svého uvážení.

Archivace dat byla naprogramována jak v hlavním PLC Vision280, kde slouží pro prohlížení hodnot v uplynulém měsíci, tak i v pomocném PLC Vision 130, které umožňuje rozšíření o SD kartu a tak se zde ukládá delší interval hodnot.

Komunikaci mezi hlavním a podružným PLC je zprostředkováno pomocí Ethernetových karet. Tyto karty jsem naprogramoval pomocí síťového protokolu MODBUS IP. Pro komunikaci bylo nutné nastavení názvu, ip adresy, masku podsítě a výchozí bránu pro jednotlivé PLC. Poté jsem zvolil vhodnou funkci a zajistil jsem oboustrannou komunikaci mezi těmito PLC.

4.2 Použitý Hardware

4.2.1 Fotovoltaické panely

Při stavbě byly použity Trackovací konstrukce od společnosti Deger Energie s jedním polykrystalickým panelem a jedním monokrystalickým panelem od téže firmy, každý o maximálním výkonu 230Wp. Jejich maximální napětí se liší dle technologie výroby. U polykrystalického panelu je maximální napětí 36,4 V a zkratový proud 8,33 A. Maximálního výkonu dosahují při 29,7 V a proudu 7,82 A. U monokrystalického panelu je maximální napětí 36,87 V a zkratový proud 8,34 A. Maximálního výkonu dosahují při 29,29 V a proudu 7,94 A. Tyto hodnoty byly respektovány při volbě silového kabelu. Výrobce udává odolnost konstrukce proti větru o rychlosti až 170km/h. [2]

Polykrystalický panel

P max	230 W
	-
Teplotní tolerance	0/+2.5%
Ukop	29.7 V
Impp	7.82 A
Uoc	36.4 V
Isc	8.33 A

Monokrystalický panel

P max	230 W
	-
Teplotní tolerance	-0/+2.5%
Umpp	29.29
Impp	7.94 A
Uoc	36.87 V
Isc	8.34 A



Obr. 4.1 Typy panelů

4.2.2 Pohon trackerů

U naší výukové konstrukce využíváme tzv. aktivní trackery s čidlem osvětlení (blíže rozebráno v kap. 1.2.4) Tento systém je poháněn elektromotory s převodovkou a řízený mikropočítačem. Dle údajů dodavatele tyto motory lze připojit jak ke střídavému (80-265V AC) tak i stejnosměrnému (48V DC) zdroji energie, také spotřeba těchto motorů je velmi malá při otáčení mají spotřebu pouhé 2 W a spotřeba za rok je 1KWh. U tohoto systému jsou využity 2 fotodiodové jehlany, které určují nejjasnější zdroj světelné energie na obloze.



Obr. 4.2 pohon a senzory [2]

4.2.3 Akumulátory

Pro akumulaci vyrobené energie a napájení tzv. ostrovního režimu jsou použity 2 olověné bezúdržbové akumulátory FIAMM FGB 12-225 zapojené v sérii, každý o jmenovitém napětí 12V a kapacitě 225Ah. Jsou umístěny v pojízdném vozíku pod hlavním rozvaděčem a v případě potřeby je možné je odpojit a použít k jiným účelům.[6]

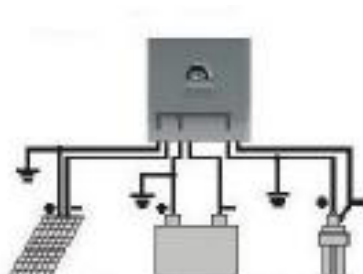
4.2.4 Solární regulátory nabíjení

Jako nejvhodnější regulátory byly zvoleny regulátory Phocos CX 10 s LED displejem. Tyto regulátory mají systém MPPT, který nastavuje nejvhodnější pracovní bod fotovoltaických panelů dle aktuálního osvětlení tak, aby bylo dosaženo maximálního výkonu z panelů a optimální nabíjení akumulátorů. Zároveň akumulátory chrání před hlubokým vybitím a přehříváním. Navíc tyto regulátory lze snadno programovat a indukují stav akumulátorů na svém LED displeji. Díky jejich maximálnímu výkonu, který je 120Wp bylo nutné použít 4 tyto regulátory a zapojit je paralelně.[8]

Tab. 4.1 Technické parametry solárních regulátorů

CX 10

Napětí systému	12/24 V
Max. nabíjecí/vybíjecí proud	10A
Udržovací dobíjení	13.7/27.4 V (25 °C)
Normální dobíjení	14.4/28.8 V (25 °C)
Aktivace	napětí baterie < 12.3/24.6 V
Přepětová ochrana	15.5/31.0 V
Podpětová ochrana	10.5/21.0 V
Maximální napětí	30 V (12 V)
(ochrana varistorem)	50 V (24 V)
Teplotní kompenzace	-25 mV/K (12 V)
	-50 mV/K (24 V)
Vlastní spotřeba	< 4 mA
Provozní teplota	-20 to +50 °C
Max. nadmořská výška	4,000 m.n.m
Typ baterií	olověné (GEL, AGM, tekutý elektrolyt)
Ochrana proti změně polarity	ano
LCD displej	ano
Export dat do PC	ano
Stupeň krytí	IP22



Obr. 4.3 zapojení solárních regulátorů [8]

4.2.5 Měníč vlastní spotřeby

Jako zdroj interní sítě při tzv. ostrovním systému slouží střídač i-Tec Power inverter. V praxi se tento střídač využívá např. v automobilech a ostatních přístrojích, které mají klasickou tříkolíkovou zástrčku. Není vhodný pro přístroje s velkými výkony. Trvale dodávaný výkon je 200W a špičkový až 300W. Bohužel volba tohoto měniče z praktického hlediska nebyla nejlepší, protože při přepínání napájení sepnutých stykačů tento měnič nedokáže udržet spínací proud a dojde k bezpečnostnímu odstavení.

Tab. 4.2 Technické parametry i-Tec Power inverter

Výstupní zásuvka:	1 - typ Euro 16A_230V
Výstupní střídavé napětí:	~230Vrms \pm 20V
Frekvence střídavého napětí:	50Hz \pm 2,5Hz
Výstupní střídavý průběh:	Modifikovaný sinusový průběh
Maximální trvalý výstupní výkon:	200W
Špičkový výstupní výkon:	300W
Rozsah vstupního napájecího napětí:	10-15V / 20-25DC
Odběr měniče naprázdno:	0,2A
Účinnost (typicky):	>85%
Rozsah pracovních teplot okolí:	-10°C ~ 40°C
Vypnutí měniče při nízkém napětí:	10,5V / 21V
Vypnutí měniče při vysokém napětí:	16,5V / 26,5V
Vypnutí při přehřátí:	Automaticky nad +65°C \pm 5°C
Vypnutí při výkonovém přetížení:	Automaticky nad 300W
Vnitřní pojistka:	25A
Rozměry:	140 x 78 x 58 mm



Obr. 4.4 i-Tec Power inverter [8]

4.2.6 Grid-on měnič

Po zničení předešlého měniče Power Jack PSWGT-1200-28-52-220 jsem byl nucen najít a navrhnout náhradu. Jako jedinou vhodnou náhradu jsem našel měnič solar inverter GTI WV-500W. Vzhledem k nižšímu výkonu jsou nutné dva tyto měniče, ale tím se nám naskytne možnost připojení každého stringu zvlášť, což je pro měření velmi vhodné. Po připojení přímo do střídavé elektrické sítě se s ní synchronizují, nastaví optimální pracovní bod fotovoltaických panelů (MPPT) a vyrobenou elektřinu tak dodávají do rozvodné sítě [9].

Tab. 4.3 Technické parametry Grid-on měniče

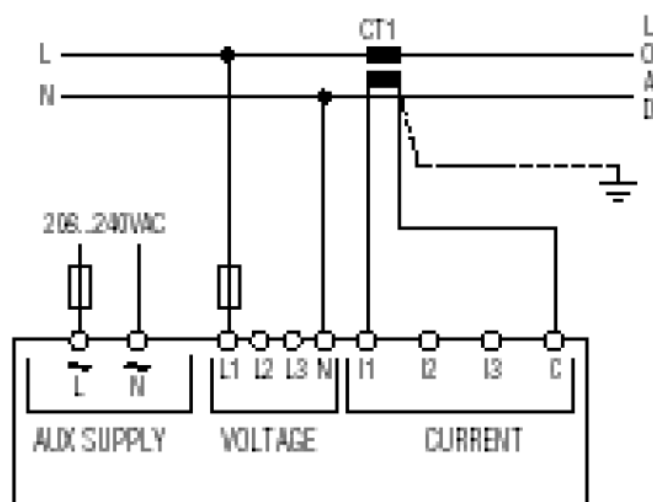
Jmenovitý výkon	500 W
Max. výkon fotovoltaických solárních modulů	600 W
Max. vstupní DC proud	40 A
Max. vstupní napětí	80 V
Max. výstupní výkon	500 W
Rozsah vstupního DC napětí	15-62 V
DC ochrana proti přepolování	pojistka
AC rozsah napětí	180-260 V
AC rozsah frekvence	45-53 Hz
Výstupní celkové harmonické zkreslení	<5%
AC Phase	<0,5%
Ochrana	VAC,fAC
Ochrana proti zkratu na výstupu AC	Ano
LED displej ,výkon, frekvence ,napětí ,MPPT	Ano
Klidový odběr	<1 W
Noční odběr	<1 W
Krytí	IP20
Hmotnost	2 Kg
Rozměr	300x210x115mm
Instalace na zeď	Ano
Délka připojovacího AC kabelu	1,8m
Chlazení ventilátor	Ano



Obr. 4.5 inverter GTI WV-500W [9]

4.2.7 Multimetr

Pro měření střídavých veličin byl zvolen multimetr Lovato Electric DMK22. Tento multimetr umožňuje měření efektivních hodnot až 3 fází ve dvou kvadrantech a zobrazit je pomocí 4 LED segmentových displejů. Navíc bylo využito optického izolovaného komunikačního portu RS485 k připojení nadřazeného PLC vision280. Komunikace byla naprogramována pomocí protokolu MODBUS® RTU a ASCII, díky čemuž tento multimetr předává naměřené hodnoty nadřazenému PLC. Multimetr je použit pouze pro měření externí sítě. Způsob zapojení viz obr. 4.6.



Obr. 4.6 zapojení multimetru DMK22 [9]



4.2.8 Ovládací a měřicí prvky

Jako hlavní řídicí systémy byly zvoleny 2 moderní programovatelné PLC automaty od firmy Unitronics. Tyto PLC automaty byli zvoleny pro jejich atraktivní design, dobré uživatelské rozhraní, dotykový display a velmi velkou rozmanitost v možnostech programování a rozšíření o další podpůrné moduly. V programování je umožněno nejen vytvářet velmi jednoduše program, ale také navrhnou uživatelské rozhraní (HMI). Navíc program lze stáhnout ze stránek výrobce zdarma a lze si k němu stáhnout různé pomocné softwary např. pro vzdálené ovládání HMI, program pro tvorbu OPLC serveru, program pro správu a formátování SD karet atd.

Jako podpůrné PLC byl zvolen model Vision130, který je umístěn v laboratoři EK 703 ležící v 7. patře. Toto PLC má za úkol měřit napětí jednotlivých stringů a venkovní teplotu.

V mém projektu jsem rozšířil použití tohoto PLC o dlouhodobé ukládání dat na SD kartu. Naměřené údaje posílá toto podružné PLC Vision130 pomocí MODBUS komunikace do hlavního PLC Vision280, které je umístěno v učebně EL 205. Hlavní PLC Vision280 měří aktuální proud na jednotlivých strinzích a dopočítává zde celkový výkon na jednotlivých panelech. Dalším úkolem hlavního PLC je umožnit přístup uživateli k ovládání všech spínacích prvků a zobrazení všech naměřených veličin. Základní údaje o jednotlivých PLC viz tab. 4.4

Tab. 4.4 Technické parametry PLC

		
Typ	V130-33-T38 + EX-A1 + IO-PT400	V280 + V200-18-E4XB
Vstupy		
Digitální	22pnp/npn	18pnp/npn
Analogové	2 10 bit	4 12/14bit
HSC/Měření frekv.	2 30kHz 32bit	2 30kHz 32bit
Měření teploty	Ano (PT100)	Ano (PT100)
Výstupy		
Digitální	16pnp	15pnp, 2pnp/npn
Vysokorychl./PWM	7 2kHz	
Analogové	Ne	4 12bit
I/O Rozšíření		
	pomocí expanzního portu nebo pomocí CANbus	
Program		
Paměť programu	Logika: 512K, Obrázky: 256K, Písmo: 128K	1MB
Proměnné	4096 cívek, 2048 registrů, 256 32bit, 64 32bit unsigned, 24 plovoucí, 192 časových 32 bit, 24 čítače	
Tabulky dat	120K dynamická RAM, 256K flash	120K data dynamická, 192K data statická
Paměťová karta	Data, grafy, Excel export	Ne
Uživatelské		
Typ	Grafické STN LCD, bílé podsvícení	Grafické FSTN LCD dotykový
Displej	rozlišení 128 x 64, úhlopříčka 2.4"	rozlišení 320x240 (QVGA),
Klávesnice	20 definovatelných kláves	27definovatelných kláves
Komunikace		
	CANbus, MODBUS, RS232/RS485, rozšířitelnost o Ethernet/GSM	
Obecně		
Napájení	24VDC	12/24VDC
Baterie	záloha paměti a hodin, životnost 7 let	
Krytí	IP65/NEMA4X	

Hlavní spínací prvky pro ovládání připojení přívodního kabelu jednotlivých panelů jsou použity 2 stykače Moeller Z-SCH 230V/25-40 se 4 spínacími kontakty 25A a ovládací cívkou 230VAC. Napájení těchto stykačů je zajištěno z externí sítě nebo pomocí interní sítě.

Pro připojování a odpojování jednotlivých zátěží jsou použity 2 různé typy miniaturních průmyslových relé Finder, oba s ovládacím napětím 24VDC. Pro spínání napájení stykačů mezi externí a interní sítí slouží menší typ 40.51 s jedním přepínacím kontaktem 10A/30VDC/250VAC. Pro spínání jednotlivých zátěží je použit typ 55.32 se dvěma kontakty po 2x10A/30VDC/250VAC.

K zajištění bezpečnosti při práci na zařízení jsou instalovány 3 pojistkové odpínače OEZ OPV 14, vybavené pojistkami 25A pro panely a 50A pro baterii, pro viditelné odpojení obou větví solárních panelů a baterie. Odpínač OPV 10 pak k odpojení externí střídavé sítě. Při vytažení všech pojistkových odpínačů je zařízení bezpečně od všech zdrojů elektrické energie. Pro rychlé odpojení je na dveřích rozvaděče umístěno STOP tlačítko, kterým lze v případě poruchy nebo nebezpečí rychle vypnout PLC a všechny vstupy i výstupy zařízení.

Pro měření jednotlivých veličin jsme byli nuceni vzít v potaz proudové omezení analogových vstupů PLC. Tyto vstupy mají napěťový rozsah pouze 0-10V. Nejjednodušší řešení tohoto problému bylo pomocí odporového děliče napětí. Dělič napětí pro měření baterie je navržený pro maximální napětí baterie 30,6V a děliče pro jednotlivé stringy až 40,6V. Převod na správnou hodnotu je pak řešen programově pomocí bloku linearizace. Tyto zapojení jsou realizována na univerzálním plošném spoji a umístěna v krabičkách na DIN liště. Ta pro měření napětí baterie navíc obsahuje usměrňovací diodu, která bránila nechtěnému dobíjení akumulátorů přes síťový zdroj PLC. Při prvotní prohlídce projektu jsem zjistil, že mí předchůdci zvolili usměrňovací diodu s příliš malým propustným proudem, který byl 3 A, a došlo k jejímu proražení. Proto bylo nutné tuto diodu nahradit větší 5 A usměrňovací diodou.

5 Implementace trackovacího systému

5.1 Hardwarová část

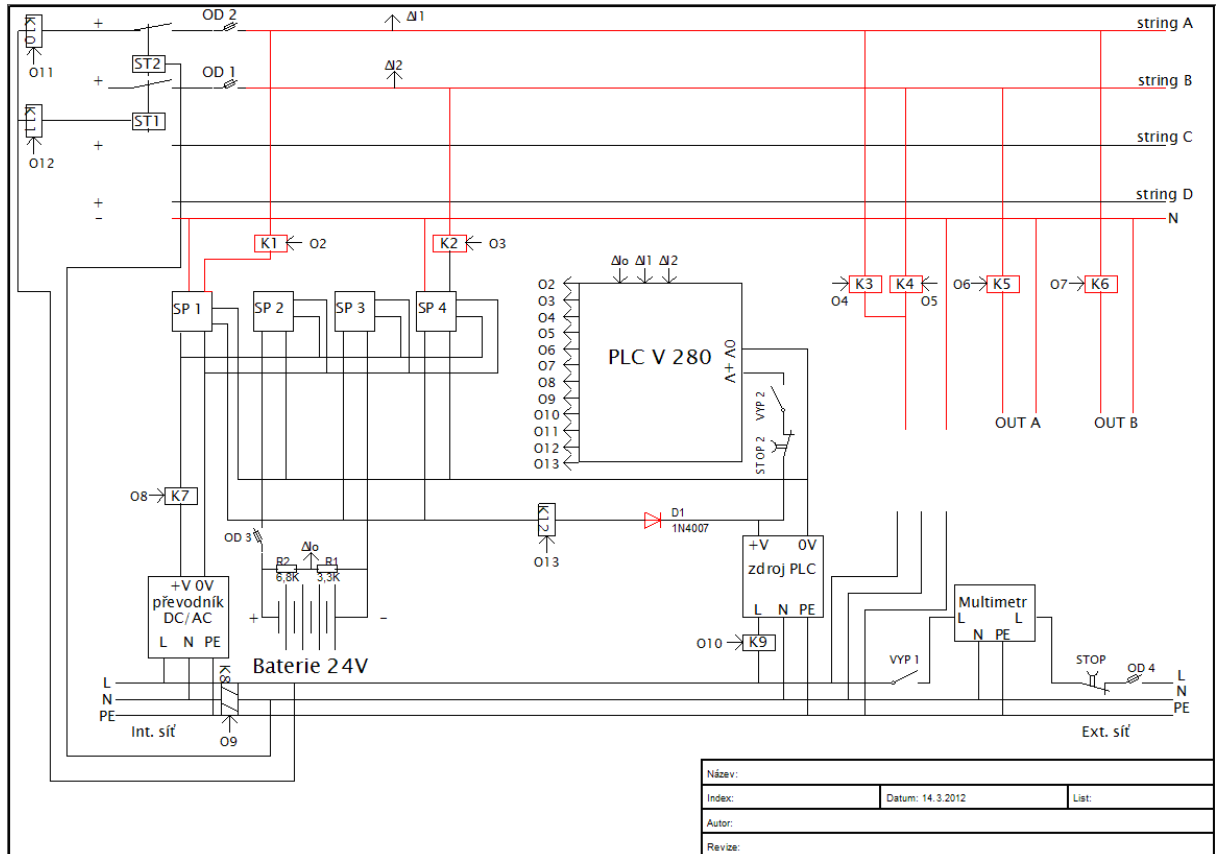
Zpočátku bylo nutné se seznámit se stávajícím zapojením. Nebylo to dle mého očekávání jednoduché, ale díky dobré a podrobné dokumentaci jsem se velmi rychle zorientoval v hlavním rozvaděči (viz obr. 5.1).



Obr. 5.1 Hlavní rozvaděč

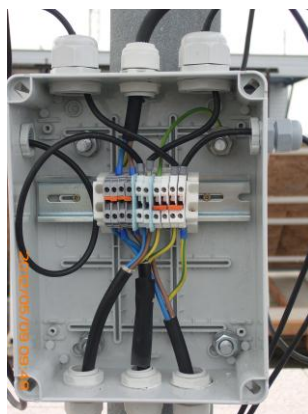
Poté bylo nutné navrhnout zapojení trackovacích zařízení do stávajícího systému. Prvotní návrh byl vést z hlavního rozvaděče jak střídavou síť, která měla sloužit k napájení trackovacího zařízení, tak vést ze střechy vyrobenou energii zpět do hlavního rozvaděče. Výhodou tohoto návrhu byla možnost měřit přesný odběr jednotlivých trackerů. Bohužel mí předchůdci počítali pouze s jedním trackerem a tak máme k dispozici pouze sedmi žilový kabel CYKY 7 x 4 mm vedoucí ze střechy do hlavního rozvaděče. Sedm žil není dostatečné množství pro připojení dvou statických zařízení, dvou trackovacích zařízení a navíc vedení střídavé sítě. Z tohoto důvodu byl návrh pozměněn. Vzhledem k tomu, že trackovací zařízení má maximální spotřebu 2W tak bylo možné využít pro vedení střídavé sítě datový kabel s rozměry 12 x 0,75 mm vedoucí z podružného rozvaděč, který je umístěn v učebně EK 703

(označení kabelu pro střídavou síť je 11,12). Energie dodávaná panely je vedena sedmi žilovým kabelem do hlavního rozvaděče. Úpravy zapojení v hlavním rozvaděči jsou zvýrazněny červenou barvou, viz obr. 5.2.



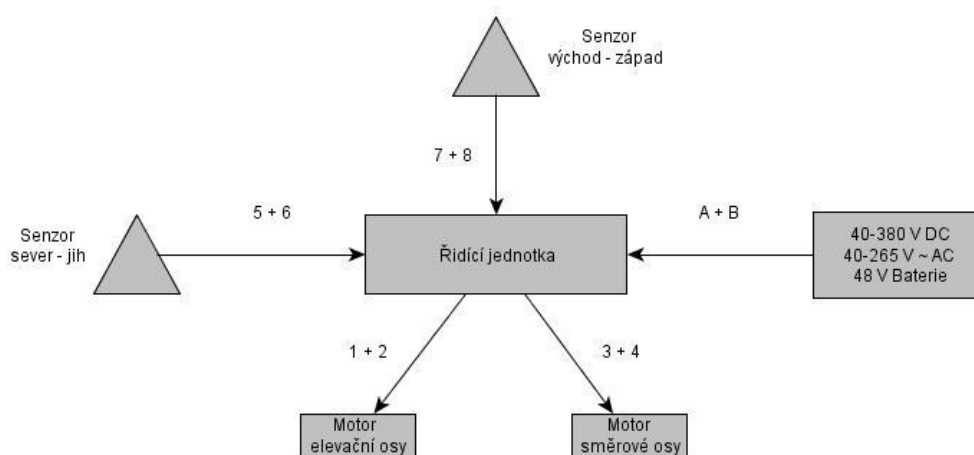
Obr. 5.2 rozvaděčová skříň

Dalším krokem bylo zapojení a uvedení trackerů do provozu. Nejdříve bylo nutné umístit jednotlivé konstrukce pro upevnění trackovacího zařízení. Po umístění a upevnění konstrukcí jsme na ně nainstalovali trackery s panely. Po dokončení stavby jednotlivých trackerů zbývalo navrhnout zapojení rozvaděčové skříňe (viz obr. 5.3), která bude umístěna na jedné z konstrukcí a připojit je k již stávajícím rozvaděčovým skříním.



Obr. 5.3 rozvaděčová skříň

Pro přehlednost jsem připojil novou rozvaděčovou skříň pomocí dvou kabelů, každý z nich má tři žíly. První jsme využili pro vedení dvou kladných pólů panelu a společného záporného pólu. Druhý jsme využili pro vedení střídavé sítě sloužící pro napájení jednotlivých trackerů a vedení ochranného vodiče, ke kterému jsou připojeny jednotlivé konstrukce (neživé části). Po dokončení tohoto zapojení jsme na jednotlivé konstrukce připevnili boxy s řídicí elektronikou. Do těchto boxů jsem připojil ovládání jednotlivých motorů a senzory, které vyhodnocují umístění nejsilnějšího zdroje sluneční energie, a tyto údaje odesílá do řídicí elektroniky. Detailní rozkreslení s popisem čísel jednotlivých svorek viz obr. 5.4.



Obr. 5.4 zapojení řídicí elektroniky [2]

5.2 Software

K sestavení ovládacích programu jsem využil program Visilogic, který je dodáván společně s PLC a je ho možné také stáhnout ze stránek dodavatele zcela zdarma. Další výhodou je možnost stáhnout další rozšiřující programy. PLC lze rozšířit o SD kartu, ovládat z jakékoliv vzdálenosti pomocí internetu a jednoduše naprogramovat OPLC server. Velkou výhodou u tohoto programu vidím v rozsáhlé nápovědě, ve velkém množství případových příkladů a volně přístupném fóru. Jako největší nevýhodu tohoto programu vidím v nemožnosti simulovaného testování jednotlivých částí programu bez připojení k PLC. Mezi menší problémy patří malá rozšířenost v ČR a nestabilita programu, ta je vyřešena častým automatickým ukládáním, takže nedojde ke ztrátě programu.

Při psaní ovládacího softwaru jsem využil předešlé práce pana Jirotky a tak se v dalším popisu budu zabývat pouze částmi, které jsem naprogramoval. Základní naprogramování a základní funkce jsou dostupné v práci pana Jirotky.

5.3 Software Vision V280

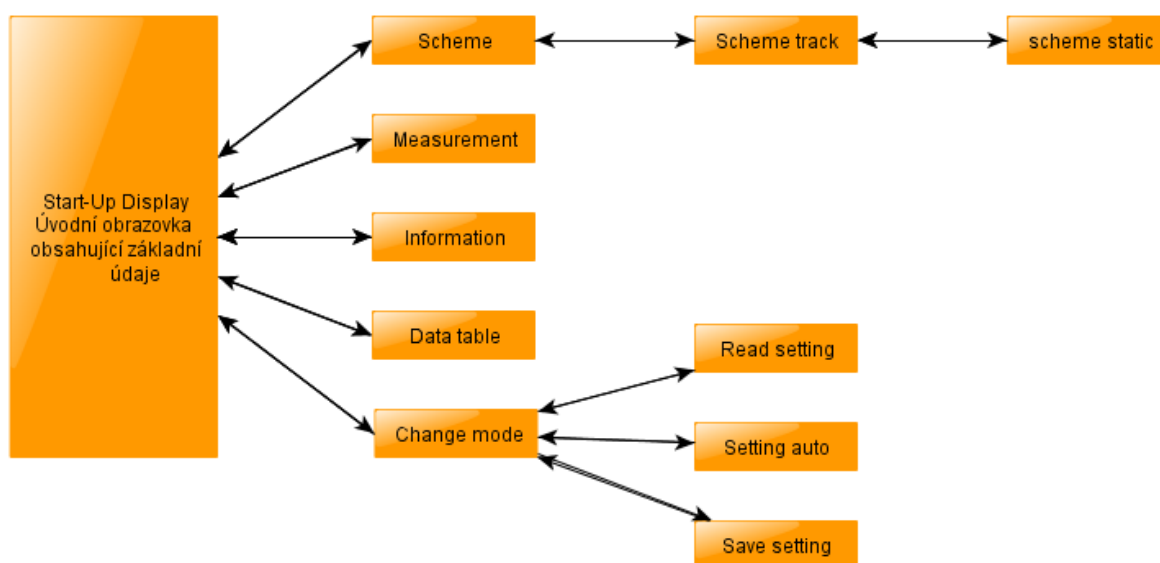
Ovládací program tohoto PLC byl přestavěn a rozšířen o mnoho podprogramů. Mezi rozšiřující podprogramy patří rozšíření automatického režimu o možnosti volby chování napájení PLC a připojování jednotlivých zátěží. Dále jsem umožnil nastavení napájení stykačů v automatickém režimu. Lehce jsem také poupravil manuální režim o ochranu proti kompletnímu odpojení napájení PLC. Další podprogram umožňuje uložení stavů jednotlivých relé a načtení je v pozdější době. Posledním a nejdůležitějším podprogramem je bezesporu archivace dat a jejich odesílání do podružného PLC, kde dochází k ukládání na SD kartu. Tento podprogram jsem rozšířil o možnost prohlížení dat v hlavním PLC. Nakonec jsem lehce přepracoval uživatelské rozhraní a připravil ho pro zapojení všech panelů.

5.3.1 Úprava uživatelského rozhraní (HMI)

Úprava uživatelského rozhraní (HMI) lze v softwaru VisiLogic velmi jednoduše. Software umožňuje vkládat jak předem definované ikony tak i vlastní obrazce. Díky tomu lze udělat velmi rozmanité uživatelské rozhraní.

Po zapnutí zařízení se na PLC zobrazí tzv. Start-up displej, který zobrazuje datum a čas, venkovní teplotu, zvolený režim řízení, aktuální výkon, ozáření jednotlivých fotovoltaických panelů a napětí baterie. Zároveň umožňuje pomocí tlačítek Scheme, Measurement, Data table,

information a Change mode přechod mezi dalšími obrazovkami. Tyto tlačítka jsou ovládána dotykem. Z těchto obrazovek je nejdůležitější scheme, ve kterém jsou zobrazeny všechny ovládací prvky a jejich stavy, které lze při manuálním režimu dotykem ovládat. Další velmi důležitou obrazovkou je change mode, ve které lze nastavovat režim, nastavení ovládání automatického režimu a ukládat či načítat uloženou konfiguraci jednotlivých proměnných. Listování v podobrazovkách je umožněno pomocí tlačítka v pravém horním rohu (znázorňuje šipku) a návrat na základní obrazovku je umožněn tlačítkem v levém horním rohu (znázorňuje dveře). Schématické znázornění celého menu viz obr. 5.5. Podoba jednotlivých obrazovek, viz příloha 1.



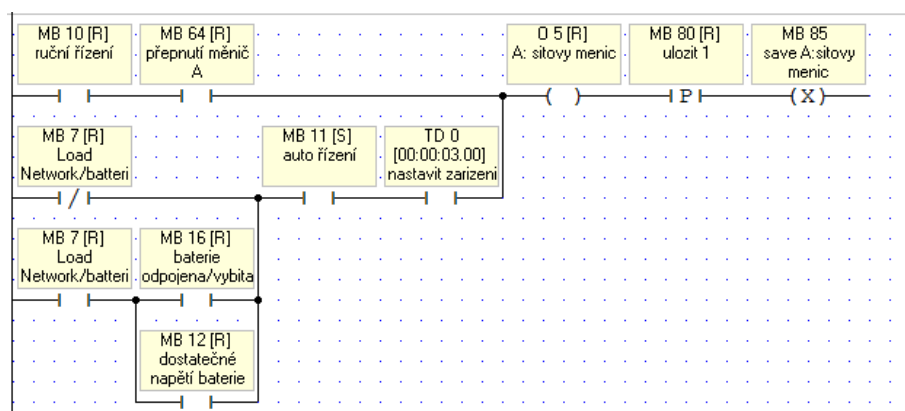
Obr. 5.5 Struktura menu Vision280

5.3.2 Rozšíření automatického režimu

Ovládání automatického režimu jsem upravil o možnost výběru prioritní zátěže. Jsou dvě možnosti nastavení, první je prioritní dodávání vyrobené energie do sítě a druhou možností je prioritní nabíjení akumulátorů.

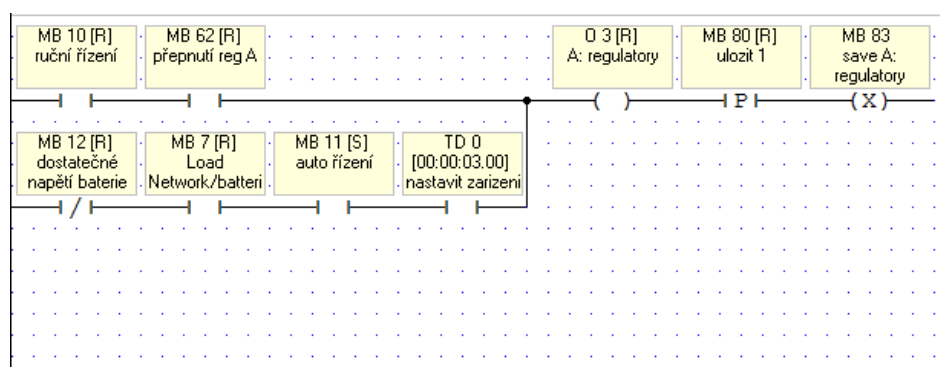
Nyní rozeberu první variantu, ve které se jedná o prioritní dodávání do sítě. Systém je v automatickém režimu MB 11, je ve stavu set. Nastavení bloku MB 7 (Tento blok plně ovládá uživatel), který ovládá druh zátěže je ve stavu reset, čímž dochází k sepnutí časovače a po uplynutí nastavené doby dojde k sepnutí O 5, který ovládá spínací relé síťového měniče. Součástí tohoto úseku programu je automatické spínání síťového měniče při plném nabití

akumulátorů, či jejich odpojení. Je patrné z obr. 5.6 problém řeší bloky MB 16 a MB 12 indikující odpojení či maximální nabití akumulátorů (více jak 26 V).



Obr. 5.6 automatické dodávání do sítě

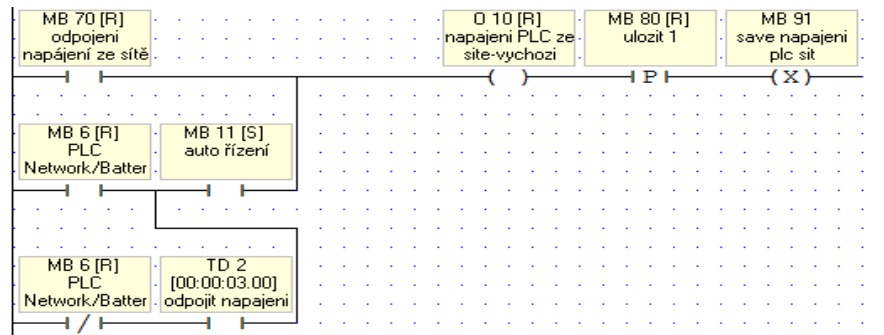
Nyní rozeberu variantu, ve které se jedná o prioritní nabíjení akumulátorů. Systém je opět v automatickém režimu MB 11 ve stavu set. Blok MB 12 sleduje stav baterie, a pokud je stav akumulátorů pod 24 V je ve stavu reset, čímž indikuje potřebu jejich dobití. Nastavení bloku MB 7 (Tento blok plně ovládá uživatel), který ovládá druh zátěže je ve stavu set a tím dojde k spuštění časovače. Po uplynutí dané doby je cívka O 3 (obdobné u regulátoru B) uvedena do stavu set a tím sepne ovládací relé jednotlivých regulátorů.



Obr. 5.7 automatické dobíjení akumulátorů

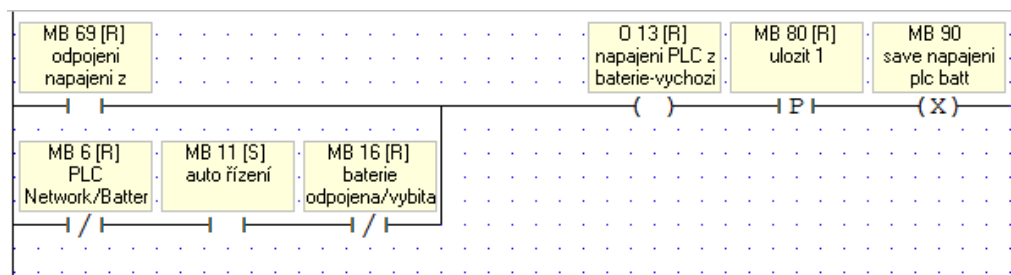
Další úpravou automatického režimu je možnost ovládní priority napájení PLC. Možnosti jsou plné napájení ze sítě nebo napájení z akumulátoru za předpokladu připojení akumulátorů a jejich dostatečné nabití.

Napájení prioritně ze sítě je řešeno velmi jednoduše pouze blokem MB 6, který v sepnutém stavu zajišťuje napájení PLC pouze ze sítě. Je zde ještě naprogramováno ochrana při malém napětí akumulátorů k automatickému sepnutí napájení ze sítě.



Obr. 5.8 automatické napájení ze sítě

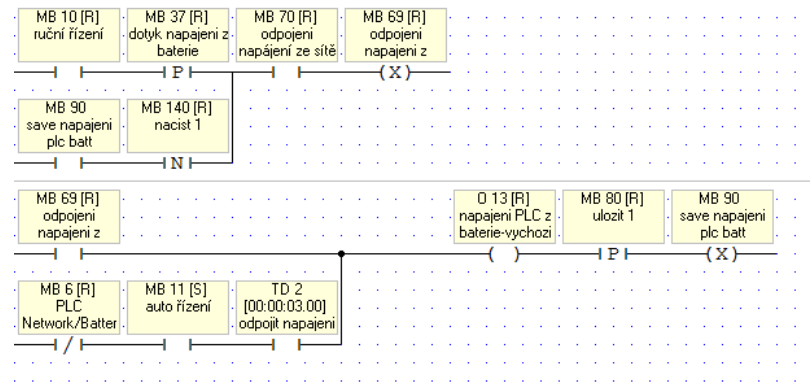
Napájení prioritně z akumulátorů je řešeno velmi obdobně. Blok MB 6 je ve stavu reset a při dostatečném nabití akumulátorů, které je zajištěno timer TD 2 je napájení PLC prioritně zapnuto k akumulátorům.



Obr. 5.9 automatické napájení z akumulátorů

5.3.3 Ochrana manuálního režimu před odpojením

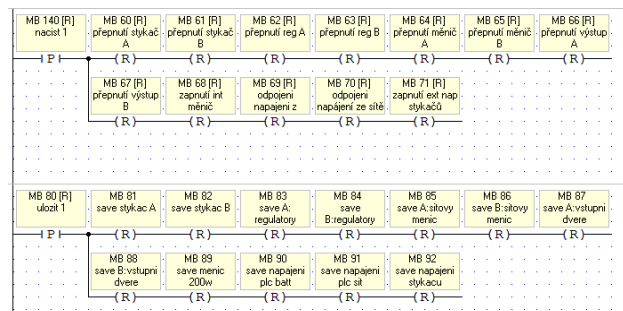
Programový způsob ochrany manuálního režimu je velmi jednoduchý. Spočívá v přidání Bloku MB 70, který indikuje aktivní napájení ze sítě. Tento blok musí být ve stavu set, aby bylo možné odpojit napájení z akumulátorů reprezentované blokem MB 69 (obdobně je tato ochrana praktikována u ovládání napájení ze sítě). Další ochrany jsem viděl jako omezování možností manuálního režimu a také zbytečné vzhledem k tomu, že ochranu před přebitím akumulátorů zajišťují samy regulátory a další nebezpečí se zde nenaskytuje.



Obr. 5.10 ochrana manuálního režimu

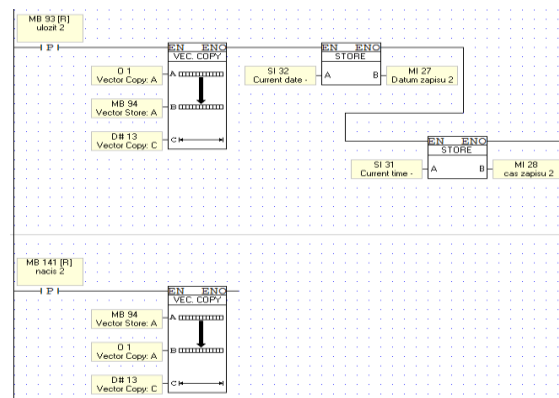
5.3.4 Ukládání a načítání stavu relé

U podprogramu ukládání a načítání jsem nejdříve zvolil postupné ukládání jednotlivých bytu do jiných. Všechny tyto bloky jsem programoval ručně, což bylo velmi zdlouhavé, ale svůj úkol tento podprogram splnil. Tento způsob jsem využil pouze u ukládání a načítání 1.



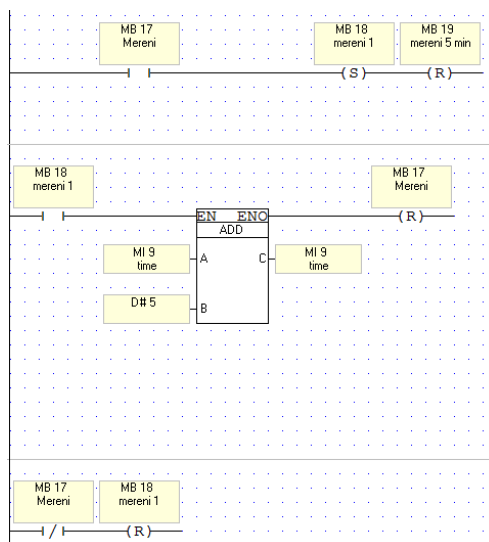
Obr. 5.11 ukládání 1 způsob

Po prostudování jednotlivých možností programu jsem u ukládání a načítání s označením 2 a 3 využil vektorové kopírování bitů. Díky tomuto postupu se program velmi zkrátil a zjednodušil což je velmi patrné již z obr. 5.12. Samozřejmě uložení je doprovázeno zapsáním času a data kdy bylo provedeno u obou těchto způsobů.



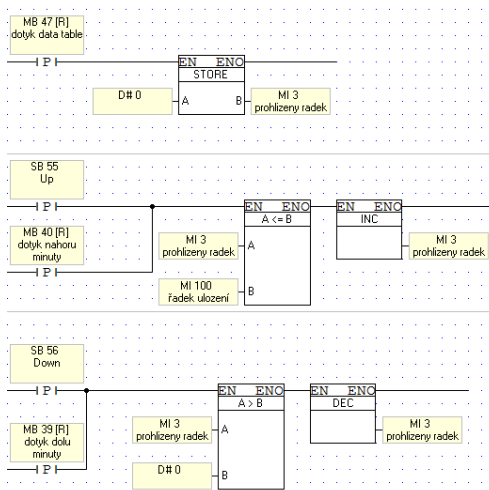
Obr. 5.12 ukládání 2 způsob

U další části tohoto podprogramu si můžete všimnout, jak jsem vyřešil otázku zápisu pouze jedné série hodnot do tabulky. Vyřešil jsem ho pomocí spínání a resetování boků MB 17 a MB 18. Když je sepnut MB 17 dojde k zápisu jedné série hodnot, přičtení hodnoty 5 do MI 9 udávající další čas zápisu. V ten samý cykl dojde k sepnutí MB 18, což má za následek odepnutí MB 17, čímž je zabráněno dalšímu zápisu do tabulky.



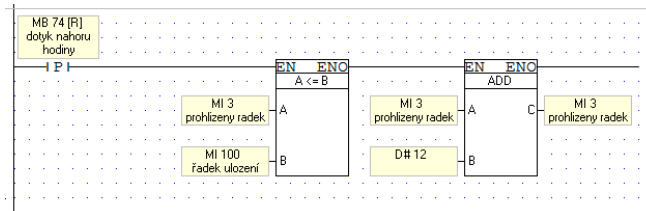
Obr. 5.15 smyčka při archivaci

U prohlížení hodnot v tabulce jsem využíval přímé zobrazení hodnot z tabulky na HMI. Podprogram řeší pouze číslo zobrazené řádky. Jak si můžete všimnout, při vstupu na obrazovku prohlížení hodnot jsou řádky prohlížení vždy vráceny na začátek a navíc je hlídáno, aby uživatel nemohl zobrazovat řádky, na kterých není nic zapsáno.



Obr. 5.16 posun u prohlížení dat

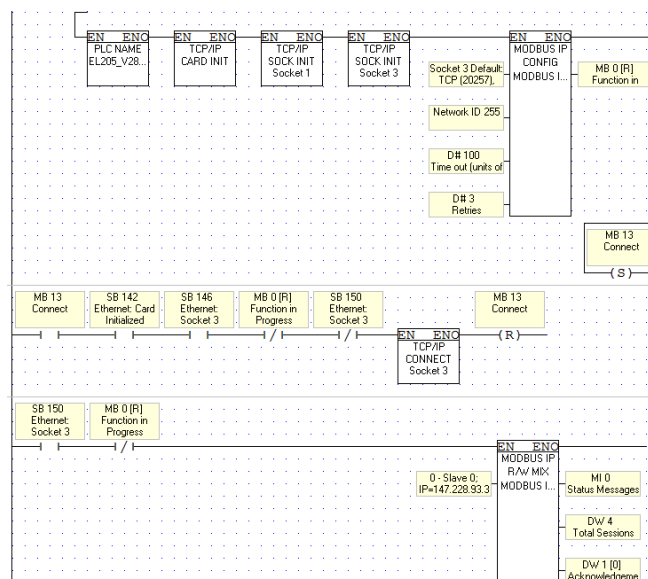
Pro zvýšení pohodlí uživatele a pro rychlejší prohlížení dat z tabulek jsem umožnil pohybování v tabulkových datech po hodinách nebo po celých dnech. Úprava je velice jednoduchá. Využívám bloku pro sečtení hodnot a při skoku o hodinu přičítám hodnotu 12 k prohlíženému řádku prezentující MI 3. Při skoku o den přičítám hodnotu 288 k MI 3.



Obr. 5.17 posun o hodinu

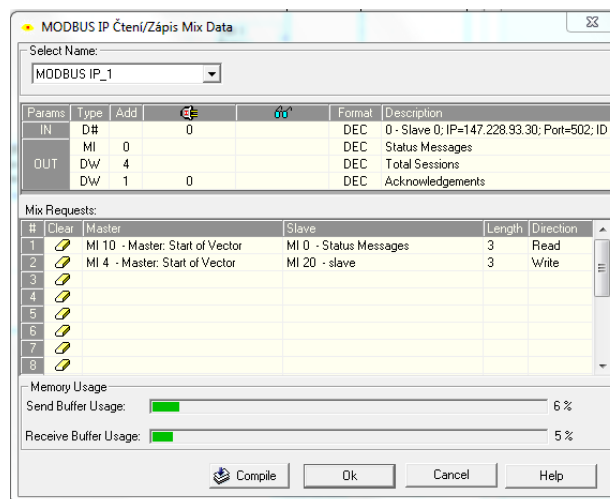
5.3.6 Odesílání a přijímání dat

Pro komunikaci mezi jednotlivými PLC jsem využil jejich ethernetové karty a za pomoci síťového protokolu MODBUS IP dochází k vzájemnému sdílení dat. Pro komunikaci bylo nutné nastavení názvu PLC v síti (EL205_V280_01_MS), který zajišťuje blok „PLC name“. Dále je nutné nastavení IP adresy tohoto PLC (147.228.90.31), masku podsítě (255.255.255.0) a výchozí bránu (147.228.92.1). Další dva bloky se zabývají inicializací socketů (socket 1 je využíván pro komunikaci s PC a socket 3 je využíván pro komunikaci mezi PLC). V dalším bloku „MODBUS IP Configuration“ se nastavuje ID sítě, počet opakování, IP Slave a další.



Obr. 5.18 komunikace

Nejvýznamnějším blokem je „MODBUS IP R/W mix“ (viz obr. 5.19), který zajišťuje nejen přijímání dat z podružného (slave) PLC, ale také umožňuje do podružného PLC zapisovat, čehož plně využíváme pro ukládání dat na SD kartu. V tomto bloku jsou odděleny tzv. „buffery“ pro odesílání a přijímání dat. Nastavení odesílání a přijímání dat je velmi jednoduché stačí vybrat ze seznamu požadované podružné (slave) PLC, poté zadáme začátek a délku vektoru pro čtení a začátek vektoru kam se mají tyto data uložit v nadřazeném (Master) PLC, nakonec v posledním sloupci vybere Read. Pro zápis je nastavení stejné s rozdílným koncem, kde nastavíme Write.



Obr. 5.19 MODBUS IP R/W

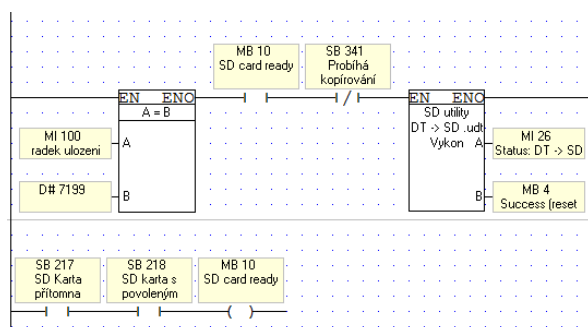
Pro využití tohoto bloku je nutné, aby jednotlivé PLC měly operační systém vyšší než O/S 401. Z těchto důvodů bylo nutné u podružné PLC upgradovat operační systém. Upgrade se obešel bez větších problémů, ale bylo nutné využít starší notebook z katedry KET, který umožňoval připojení k PLC pomocí sériového portu a současně být připojen k internetu.

5.4 Software Vision130

U programování podružného PLC jsem upravil síťovou komunikaci pouze o inicializaci socketu 1 pro komunikaci s PC. Další úprava byla archivace dat, kterou jsem naprogramoval obdobně jako v nadřazeném PLC (viz kap. 5.3.5).

Nejdůležitější úprava v tomto PLC je ukládání datových tabulek na SD kartu. Jak je patrné z obr. 5.20 opět využívám Blok pro porovnávání čísel. Pokud je tabulka V PLC naplněna dojde k nakopírování těchto dat na SD kartu a tabulka je vymazaná pro zápis nových dat. Zápis na SD kartu je ještě podmíněn její přítomností ve slotu, což indikuje blok SB 217 a blok SB 218 kontroluje správné naformátování SD karty. Pro správné formátování

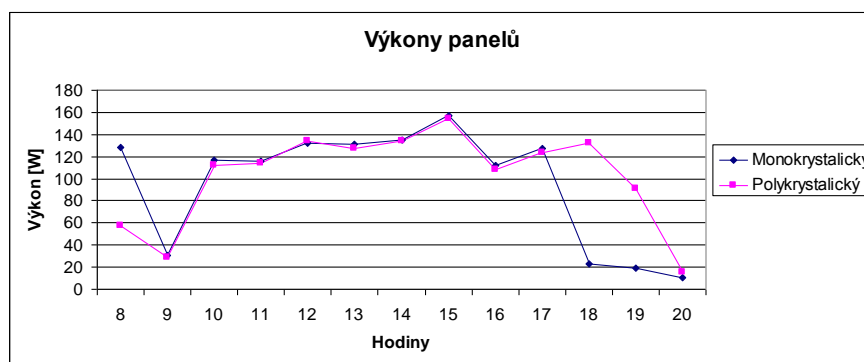
SD karty má dodavatel na svém webu zdarma přístupný software. Po splnění těchto podmínek dojde k sepnutí MB 10, což umožní zápis na SD kartu.



Obr. 5.20 zápis na SD kartu

5.5 Měření a porovnání trackerů

Měření bylo na začátku práce předpokládáno dlouhodobé s porovnáním trackerů a statických systému. Bohužel díky nedostatku času a chybějícím financím na pořízení nových síťových měničů jsem uskutečnil pouze ilustrativní měření, zabývající se porovnání dvou trackerů s rozdílnými fotovoltaickými panely. Jedná se o porovnání dvou typů fotovoltaických panelů a to monokrystalických a polykrystalických. Z prvopočátku byl předpoklad, že monokrystalický článek bude mít znatelně vyšší účinnost, jak je udáváno výrobcí i literaturou (viz kap. 1.3). Dle mých naměřených údajů je toto tvrzení chybné, tedy alespoň v našich zeměpisných šířkách. Rozdíl mezi jednotlivými účinnostmi panelů je velmi malá viz obr. 5.21. V tomto výsledku se shodují i s dalšími měření provedené v ČR společností Joyce-energie [10]. Tento výsledek je velmi zajímavý, protože mnoho dodavatelů tvrdí, že monokrystalické panely jsou účinnější a to promítají i do jejich ceny. Výkonový rozdíl v ranních a večerních hodnotách je zapříčiněn stíněním při natáčení. Celková dodaná energie za dobu tohoto měření byla u monokrystalického panelu 1,14 KWh a u polykrystalického panelu 1,29 KWh. Celá tabulka hodnot a fotky v jednotlivých okamžicích viz příloha 3.

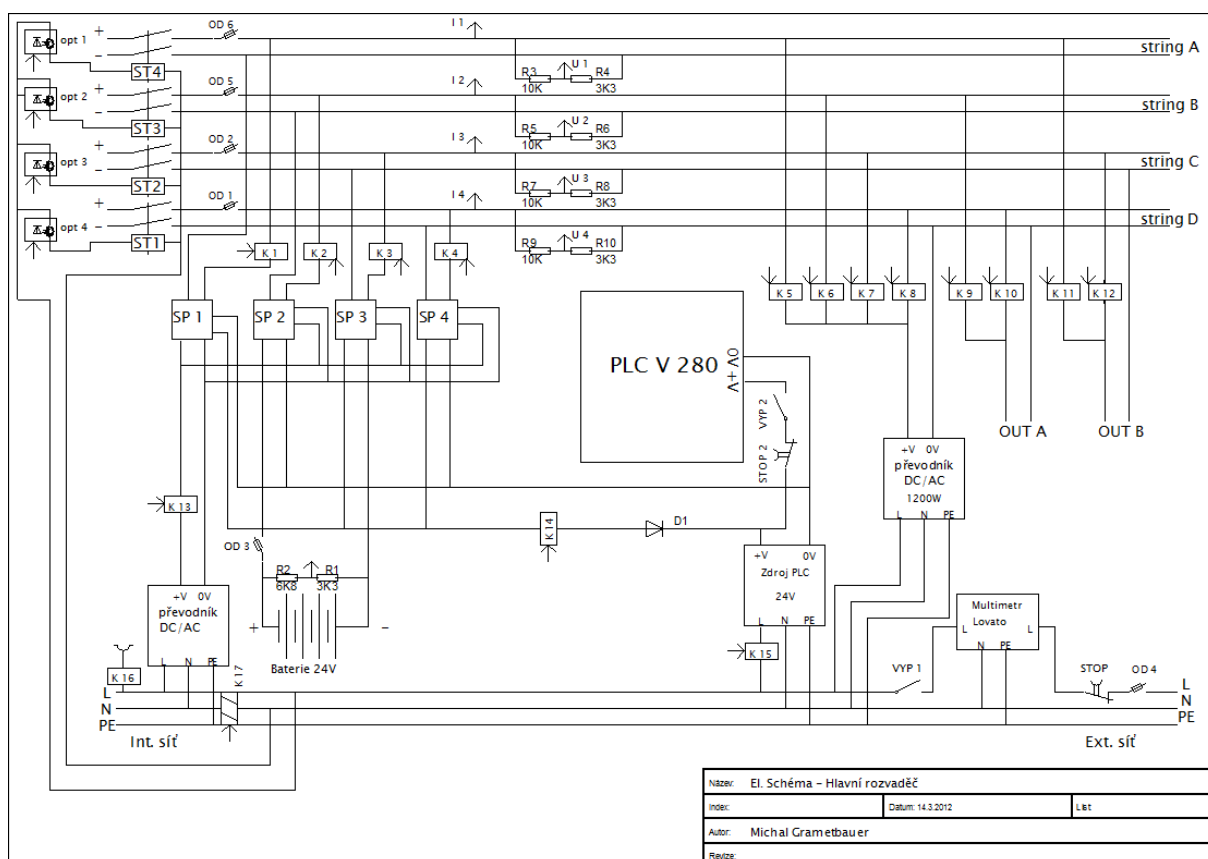


Obr. 5.21 změny jednotlivých výkonu za 12 hodin

5.6 Návrh na přestavbu

Na začátku projektu se počítalo s celkovou přestavbou stávajícího systému a umožnění připojení všech panelů jak statických tak i trackovacích. Bohužel těmto přestavbám nedošlo kvůli nedostatku času na přestavbu, pro malé rozměry hlavní rozvaděčové skříně a nedostatku financí. Proto jsem usoudil, že zhotovím alespoň návrh na budoucí rozšíření.

Návrh spočívá o doplnění o dalších 16 relé (doporučuji Z-R23/SS- šířka 12mm), které nahradí stávající relé. Výhodou těchto relé oproti stávajícím jsou rozměry, protože místa v rozvaděči je velký nedostatek. Tyto relé budou ovládat všechny zátěže a umožní připojení různých kombinací. K ovládání jednotlivých stykačů stringů jsem navrhl optočleny. Výhoda je v rozměrech a jednoduchosti galvanickému oddělení dvou obvodů s různou velikostí napětí. Další změnou je návrh přemístění měření napětí z podružného rozvaděče do hlavního samozřejmě s tím, že by bylo nutné vypočítat ztráty na jednotlivých vodičích a pomocí softwaru linearizace tuto ztrátu přičíst. Kompletní návrh viz obr. 5.22.



Obr. 5.22 návrh na přestavbu

6 Závěr

V této práci představuji moderní systémy trackovacích zařízení využívaných ve fotovoltaických elektrárnách. Hlavním záměr této práce bylo rozšíření stávajícího fotovoltaického stanoviště s fixní horizontálně polohovatelnou konstrukcí o dvouosý systém sledování slunce, který bude využíván jako model k demonstraci moderních fotovoltaických elektráren. Dále také umožnit studentům jednoduché a přehledné ovládání výukového stanoviště a zajistit systém pro dlouhodobé měření, tak aby bylo možné porovnání různých technologií využívaných ve fotovoltaice.

Největším přínosem této práce vidím v praktické realizaci celého systému. Tato práce vyžadovala nejen mnoho znalostí z různých oborů, ale také mi umožnila vyzkoušet si komunikaci s odbornými firmami při řešení různých problémů či nákupu různých součástí k projektu. Také mi tato práce dovolila nahlédnout, jak obtížné je začít pracovat na projektu, který není zcela dokončen a je k dispozici pouze dokumentace bez osobního vysvětlení jeho prvotních tvůrců.

V práci jsem navázal na projekt pana Jirotky a pana Partyngla. Tento projekt jsem rozšířil jak praktickou stavbou trackovacích zařízení tak přeprogramováním jednotlivých PLC. Celý tento systém jsem uvedl do provozu a po jeho odzkoušení jsem ho využil k měření a porovnání panelů vyrobených různou technologií.

Použitá literatura

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [2] *Dager Energie* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.degerenergie.de>
- [3] BROŽ, Karel a Bořivoj ŠOUREK. *Alternativní zdroje energie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 213 s. ISBN 80-010-2802-X.
- [4] Wikipedia. *Wikipedia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>
- [5] *Fotovoltaické systémy jako alternativní zdroje elektrické energie* [online]. 2009 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15948
- [6] JIROTKA, Jan. *Návrh řídicího systému solární mikroelektrárny* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://portal.zcu.cz/>. *Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.*
- [7] *Elektroenergetika* [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://jeen.fei.tuke.sk/index.php/jeen/issue/archive>
- [8] *Phocos* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: www.phocos.cz
- [9] *Solar-elektro* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.solar-elektro.cz>
- [10] *Joyce-energie* [online]. 2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.joyce-energie.cz/fotovoltaika/>
- [11] *Moje slunce* [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.mojeslunce.cz>

- [12] *Kodap* [online]. 2012 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://www.kodap.cz>
- [13] PARTYNGL, Pavel. *Fotovoltaické mikroelektrárny* [online]. Plzeň, 2011 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <http://portal.zcu.cz/>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [14] BP [online]. 2012 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <http://www.bp.com>

Seznam příloh

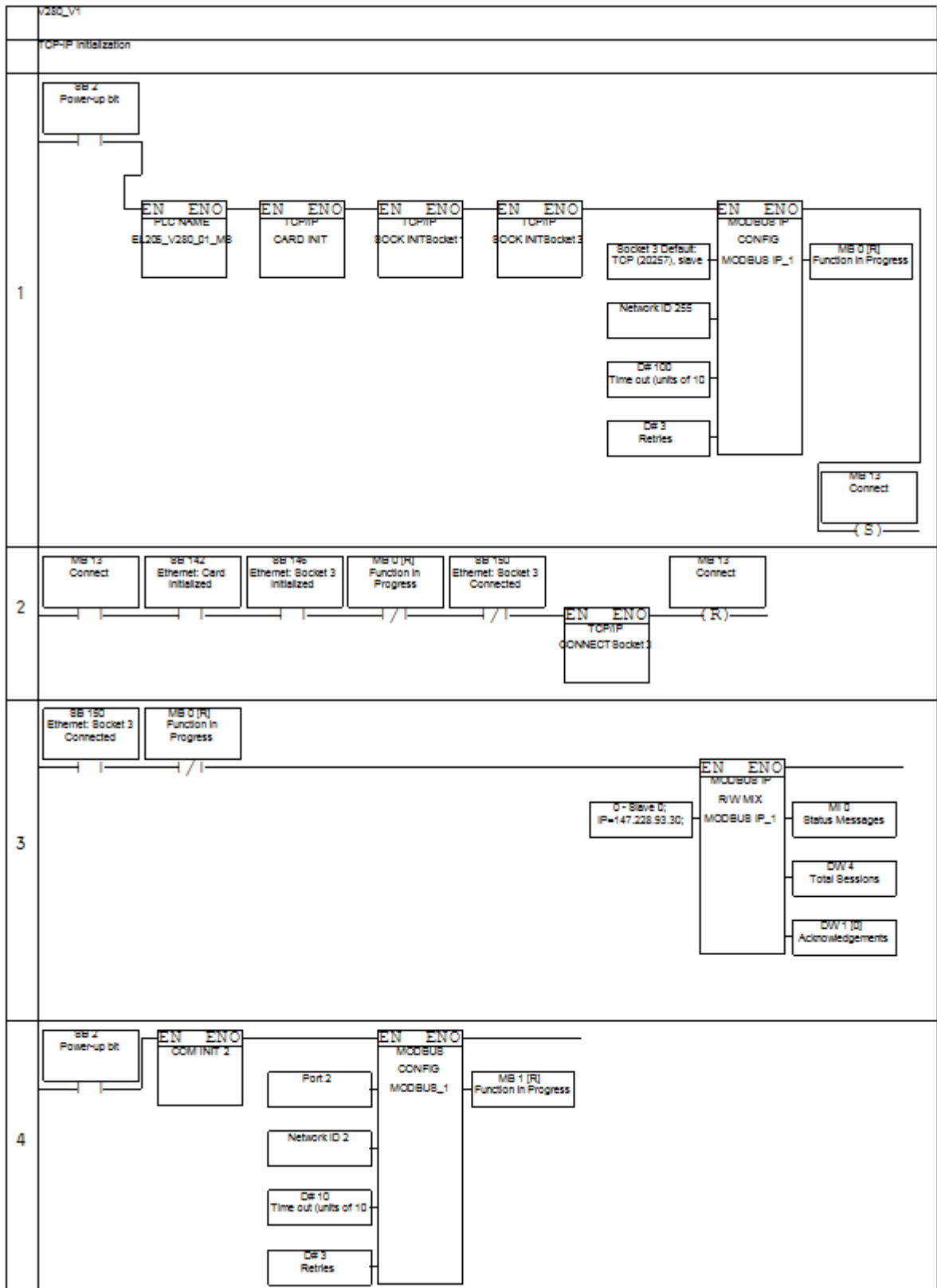
Příloha č. 1: Blokové zobrazení řídicího programu Vision280 a HMI

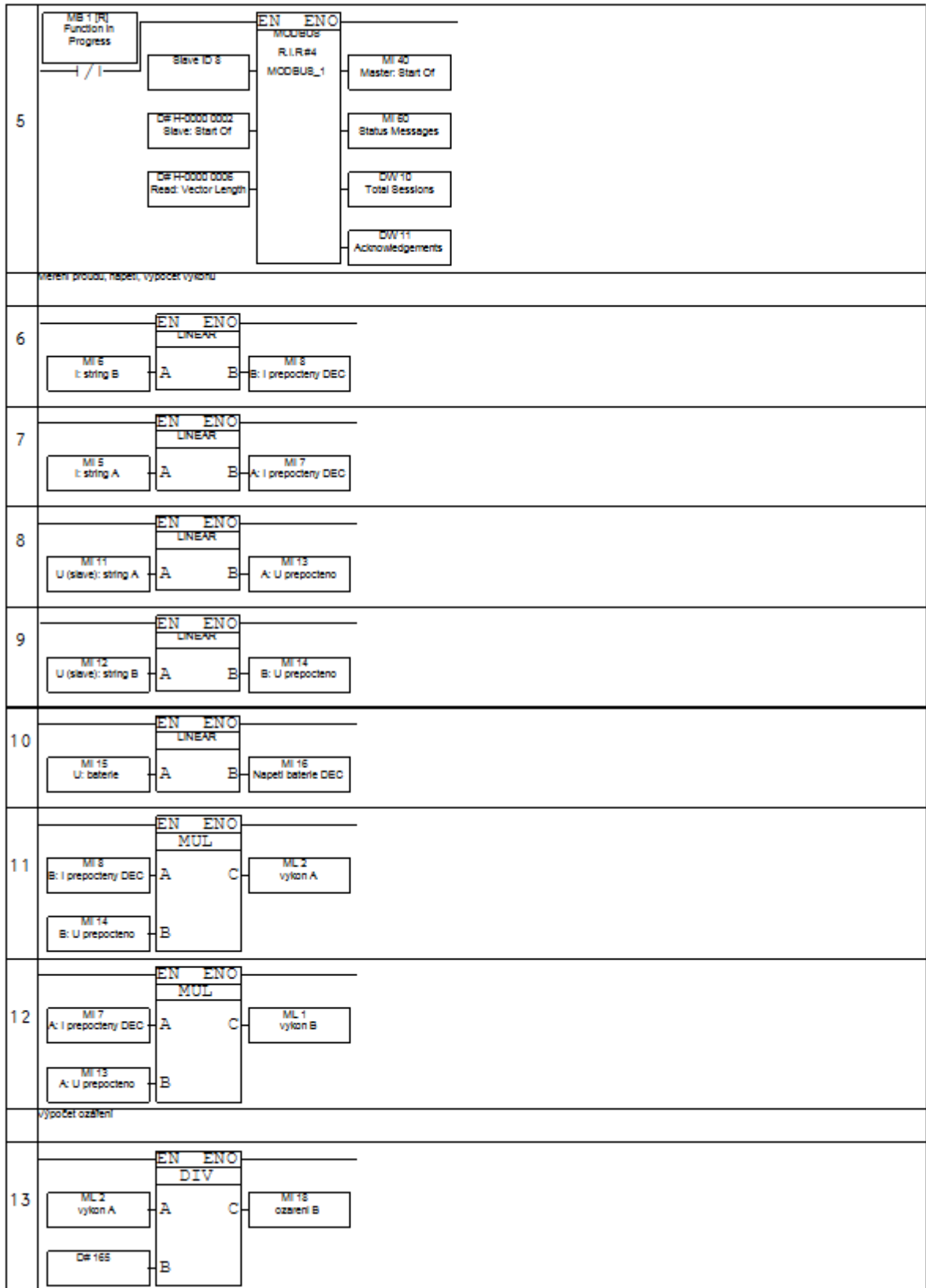
Příloha č. 2: Blokové zobrazení řídicího programu Vision130

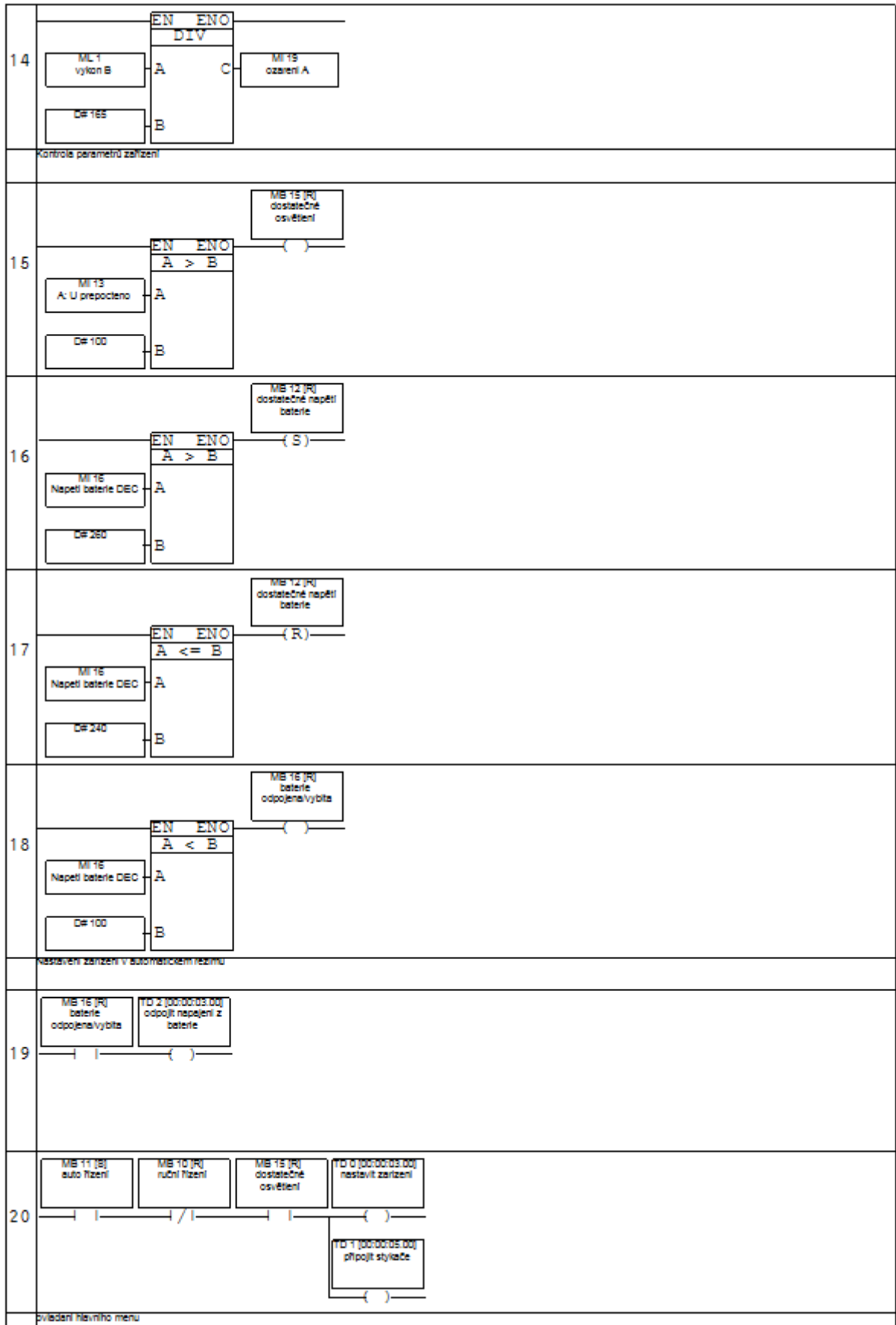
Příloha č. 3: Fotografie měření

Příloha č. 4: Tabulka měření

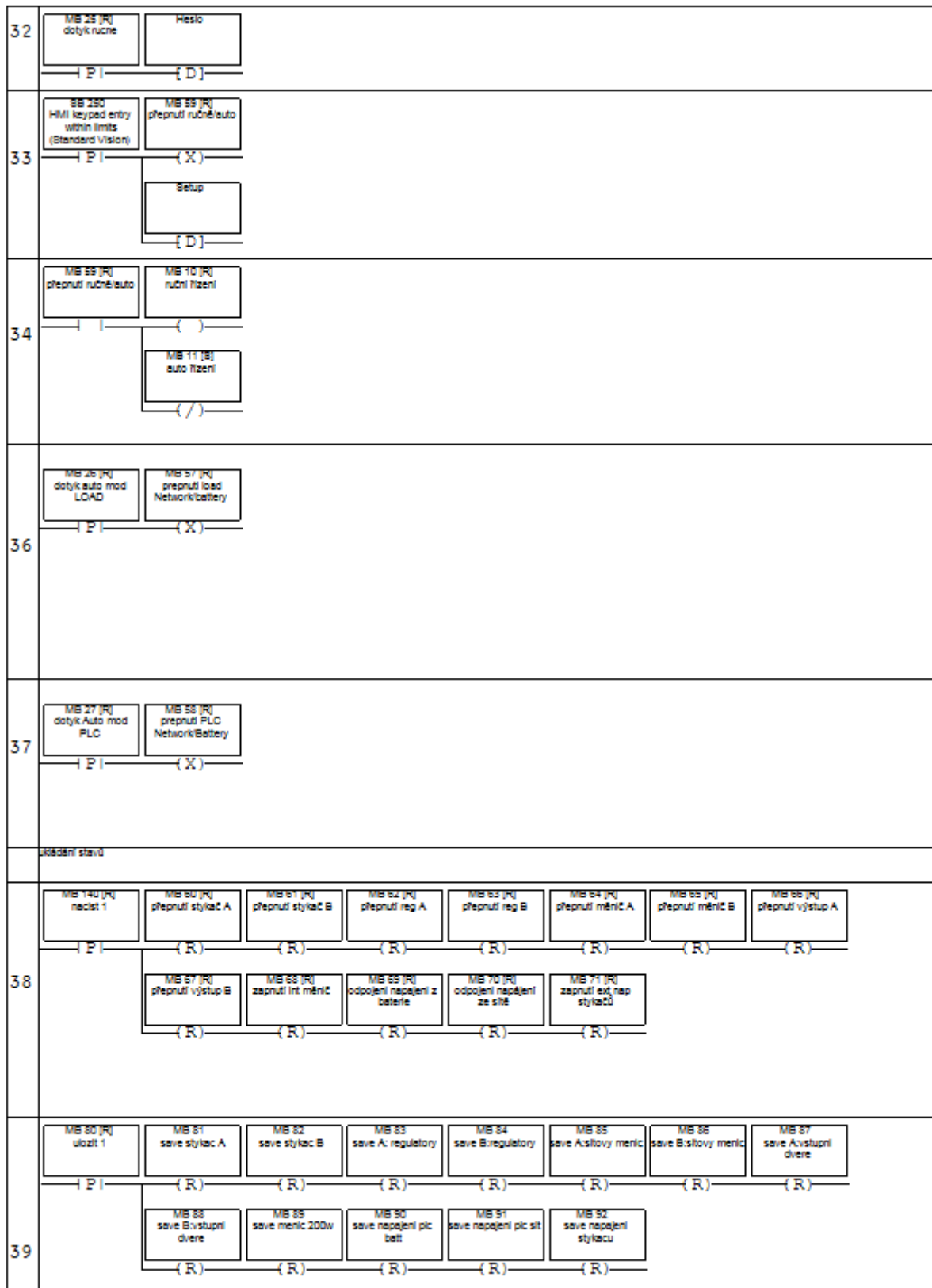
Příloha č. 1: Blokové zobrazení řídicího programu Vision280 a HMI

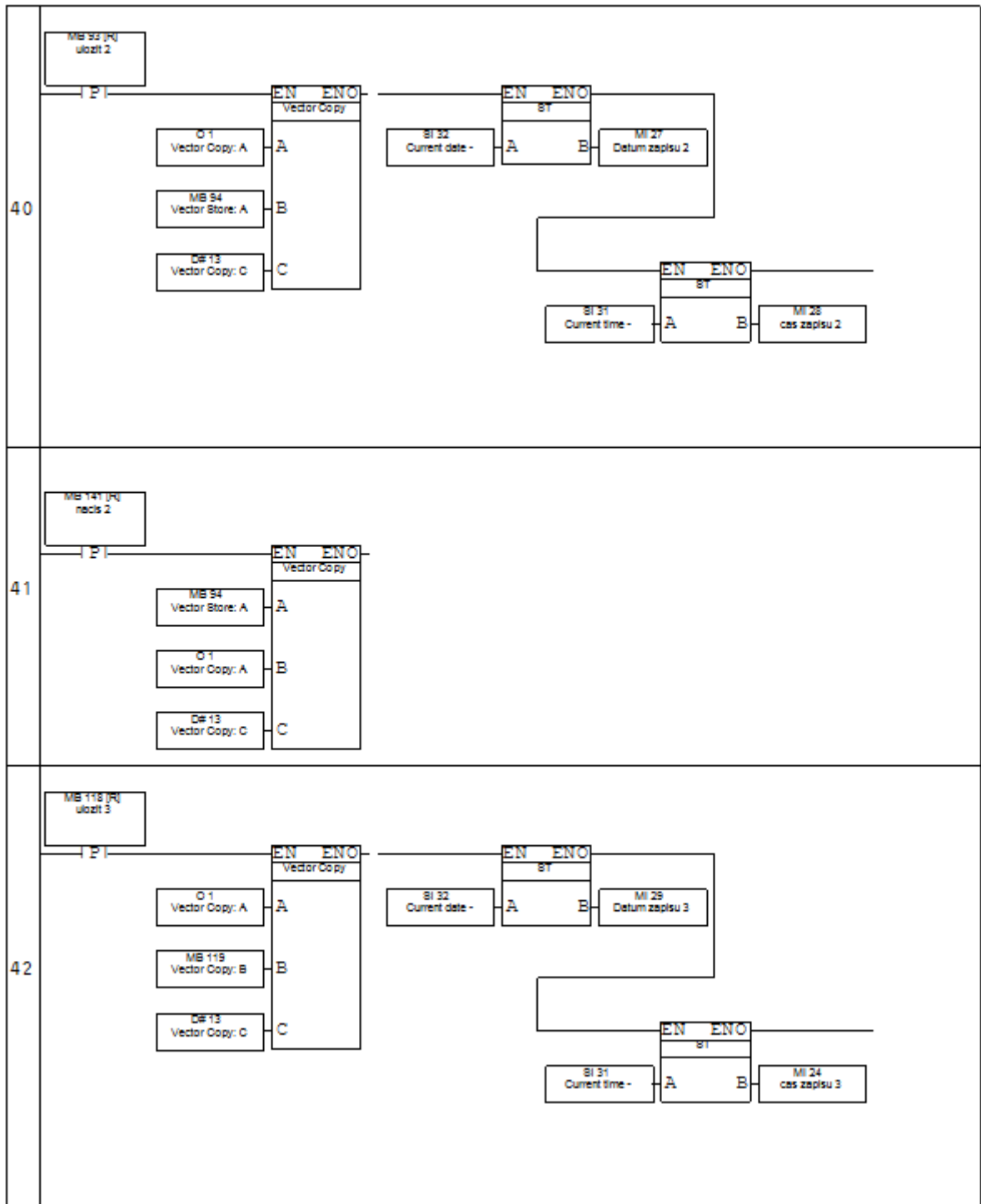


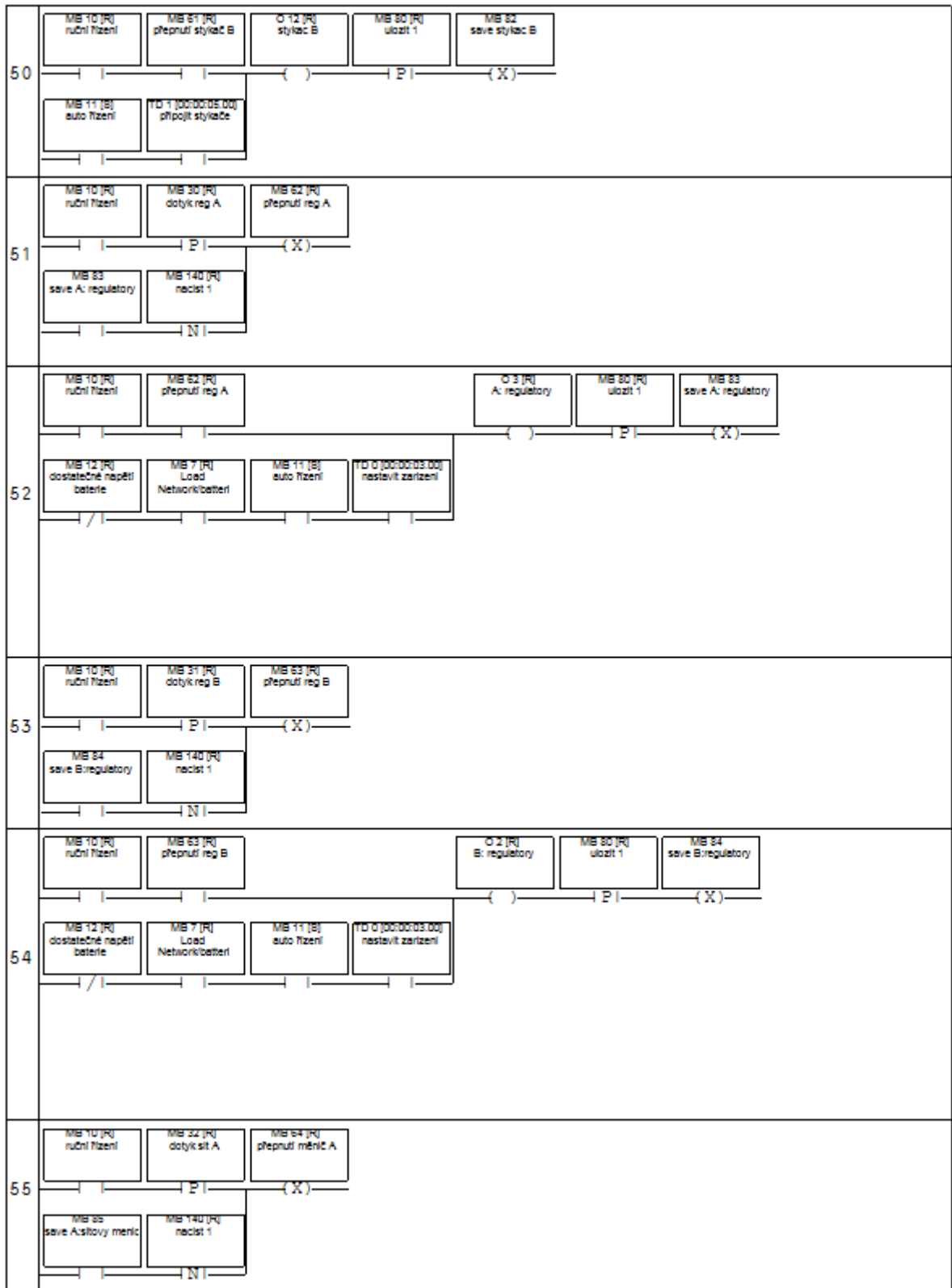


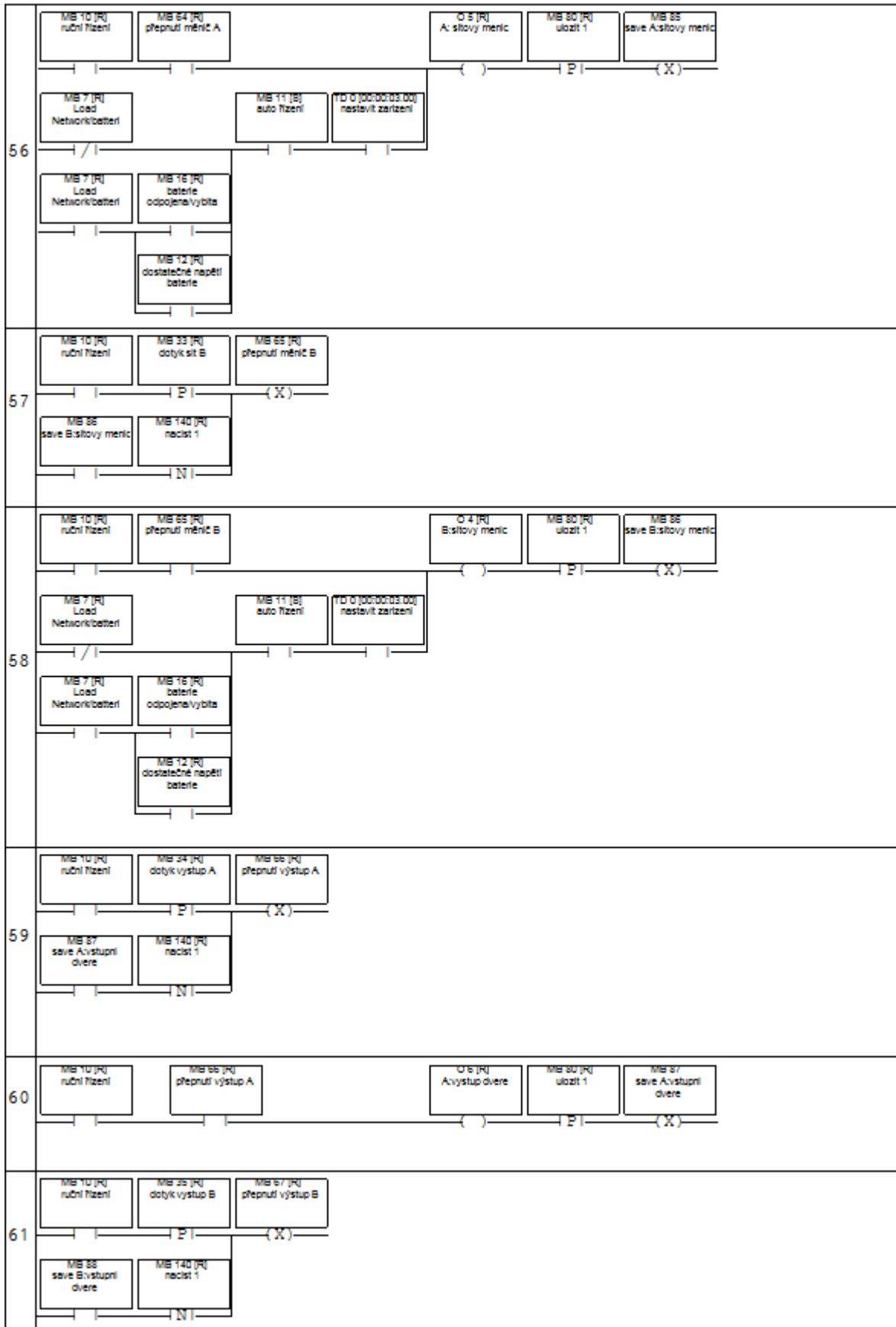


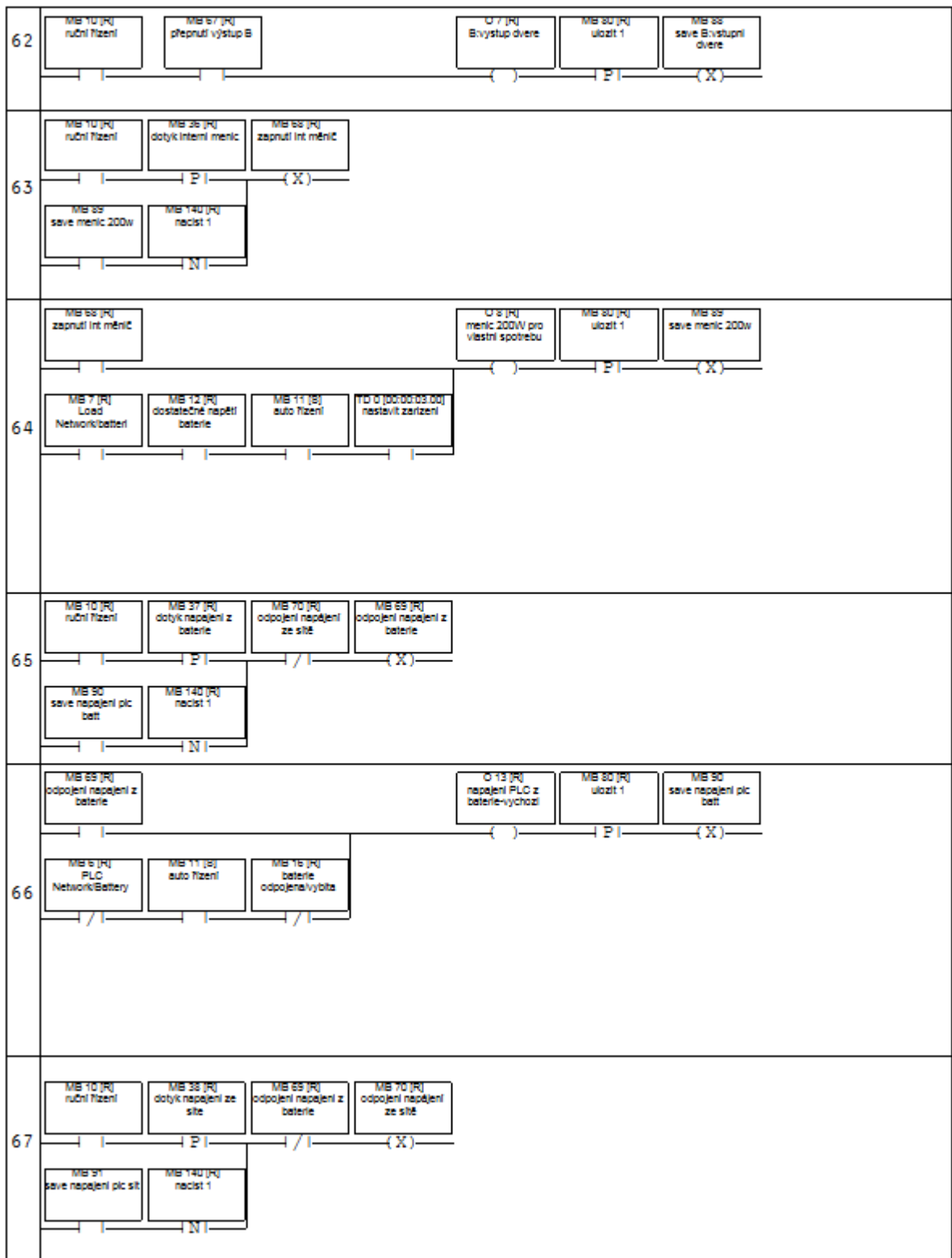
21	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 43 [R] Setup</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Setup</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
22	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 45 [R] dotyk information</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Informace</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
23	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 46 [R] dotyk mereni (measurement)</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">measurement</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
24	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 47 [R] dotyk data table</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Data</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
25	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 48 [R] dotyk Change mode</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Setup</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
26	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 44 [R] navrat na start</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Start-Up Display</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 10px; width: 45%;"> MB 57 ESC </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P </div>
27	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 53 [R] dotyk stat. scheme</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Scheme stat</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
28	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 54 [R] dotyk track. scheme</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Scheme track</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
29	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">MB 56 [R] dotyk Setup 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 45%;">Setup 2</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
30	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">MB 55 [R] dotyk Save settings</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">MB 10 [R] ručni řízení</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">save settings</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>
31	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">MB 50 [R] dotyk Read settings</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">MB 10 [R] ruční řízení</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 30%;">Read settings</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> P { D } </div>

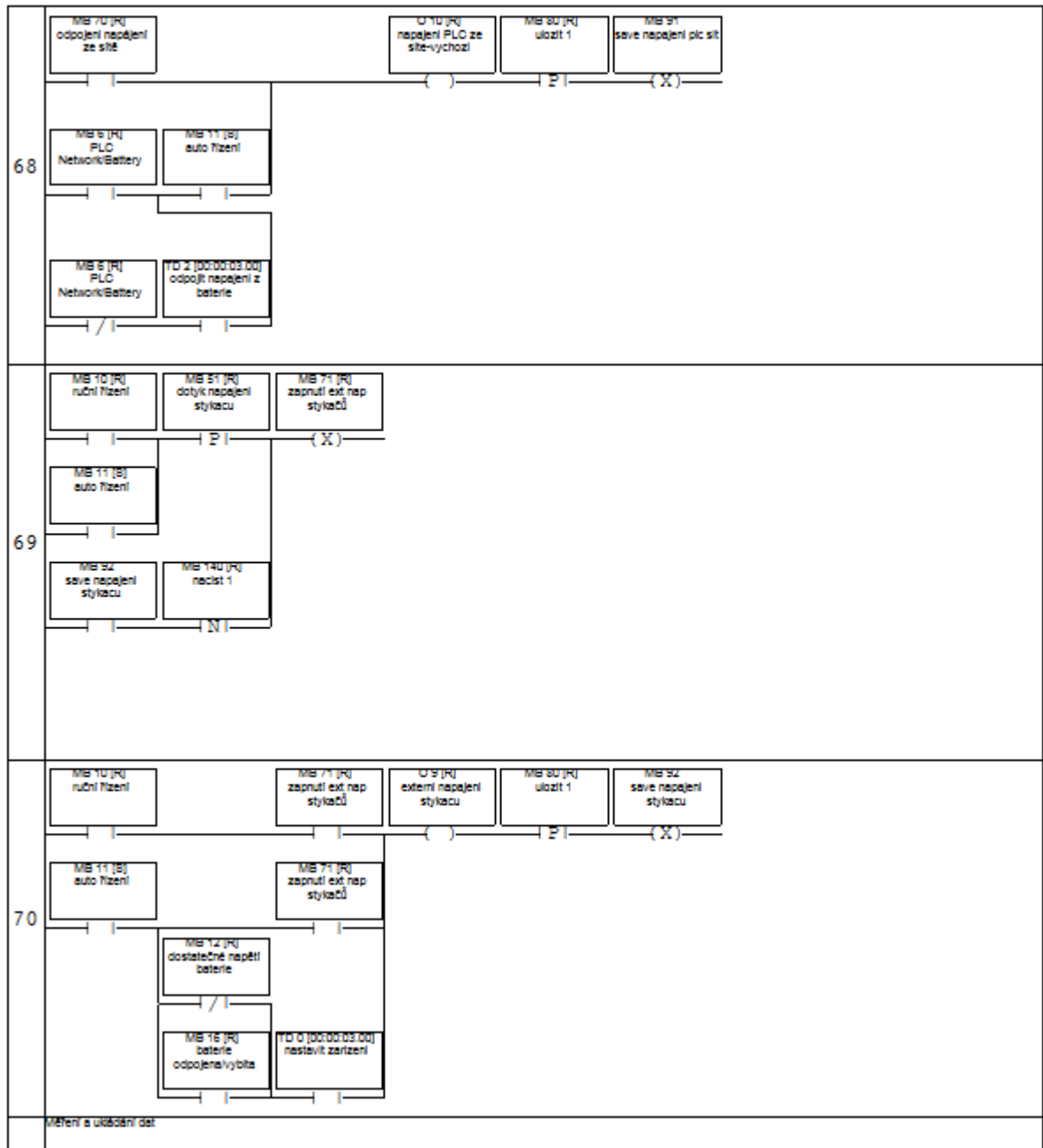


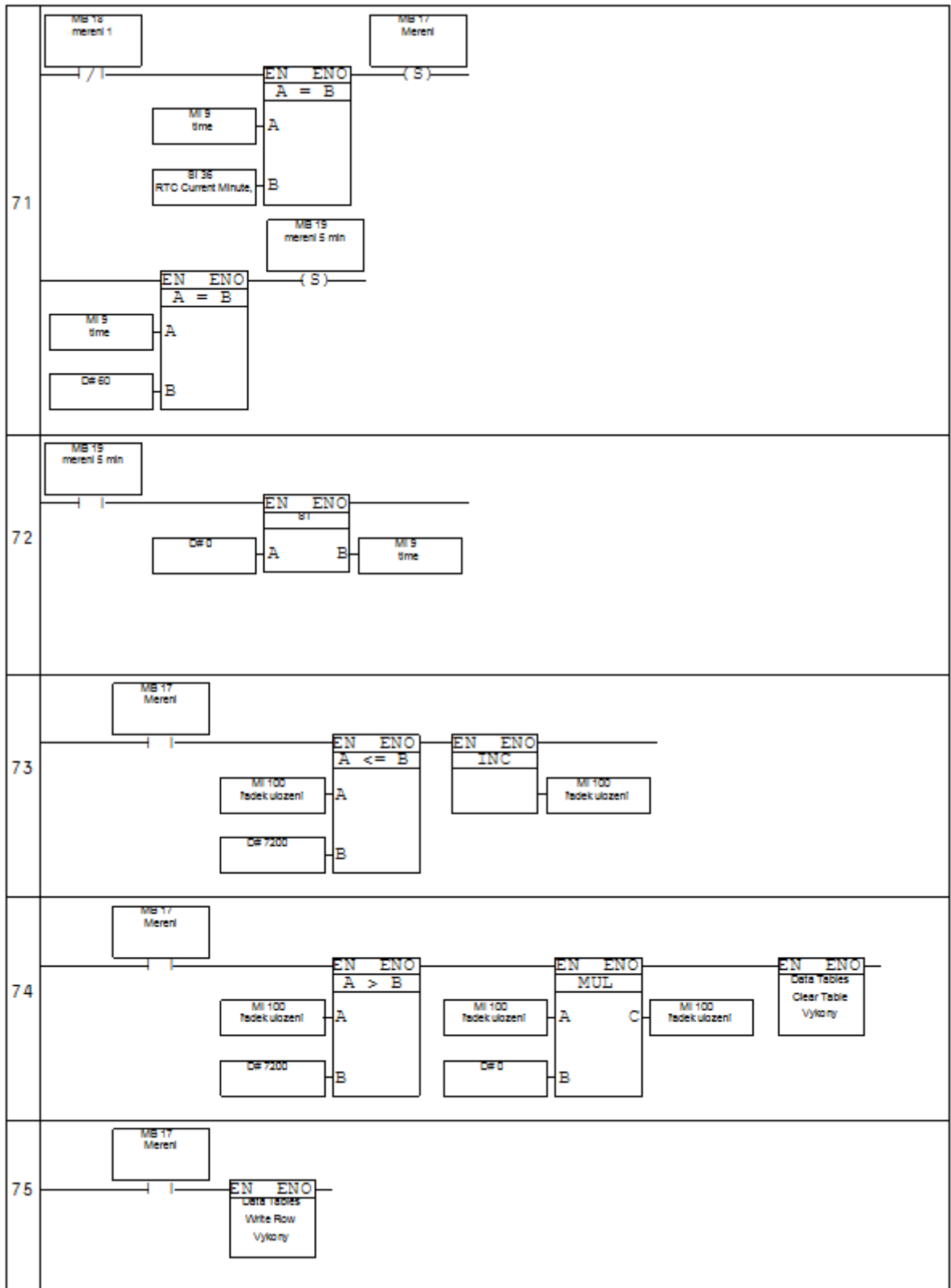


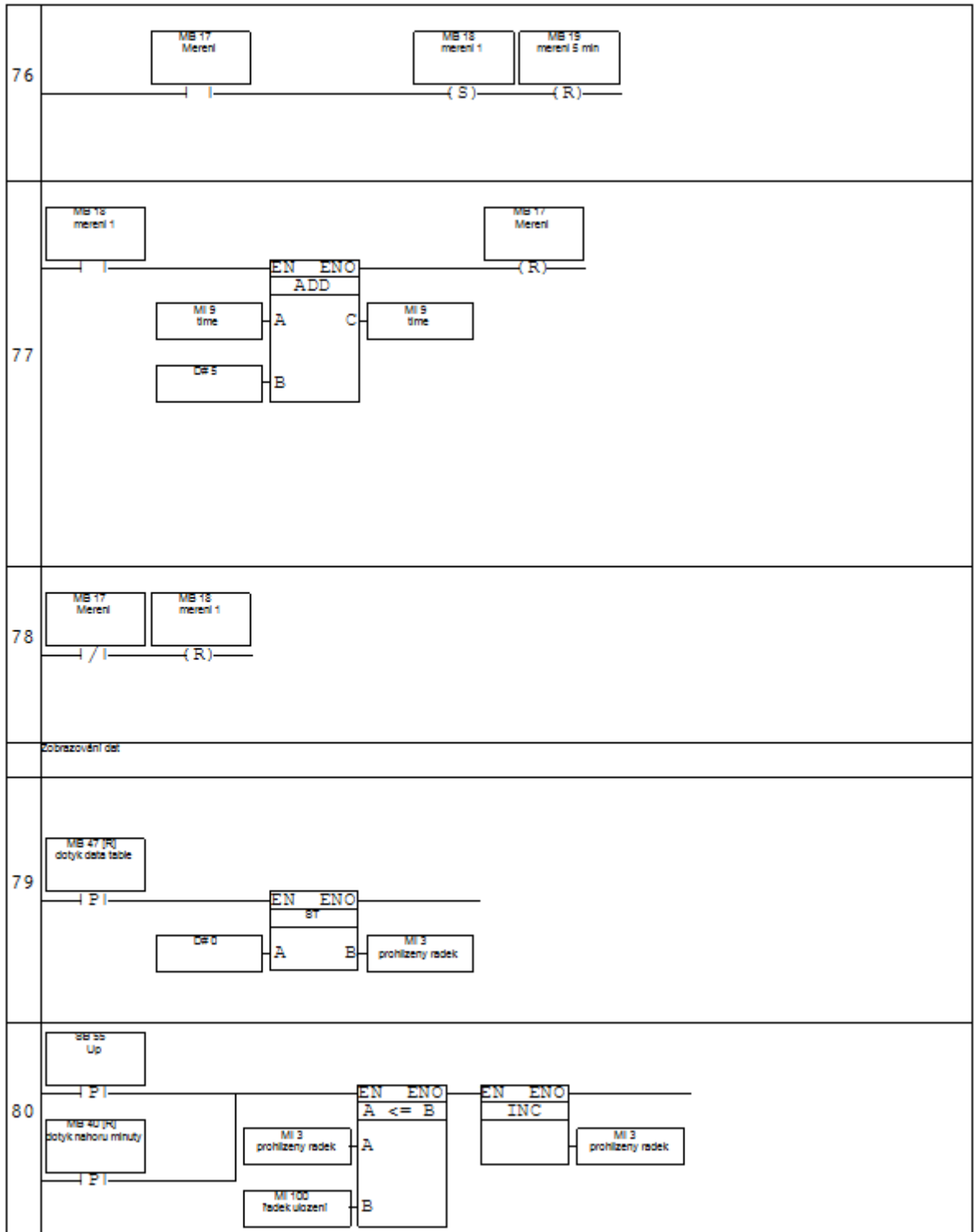


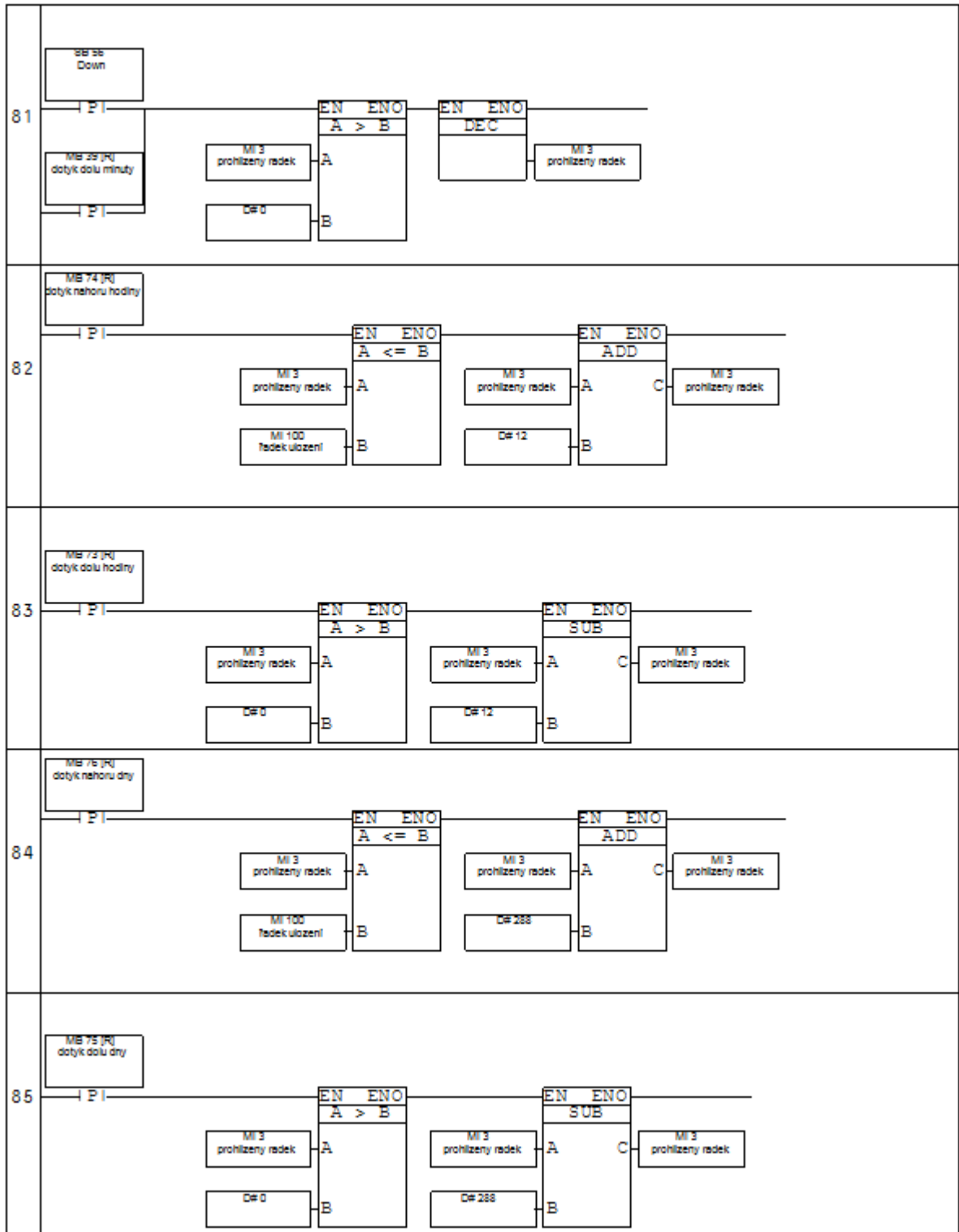


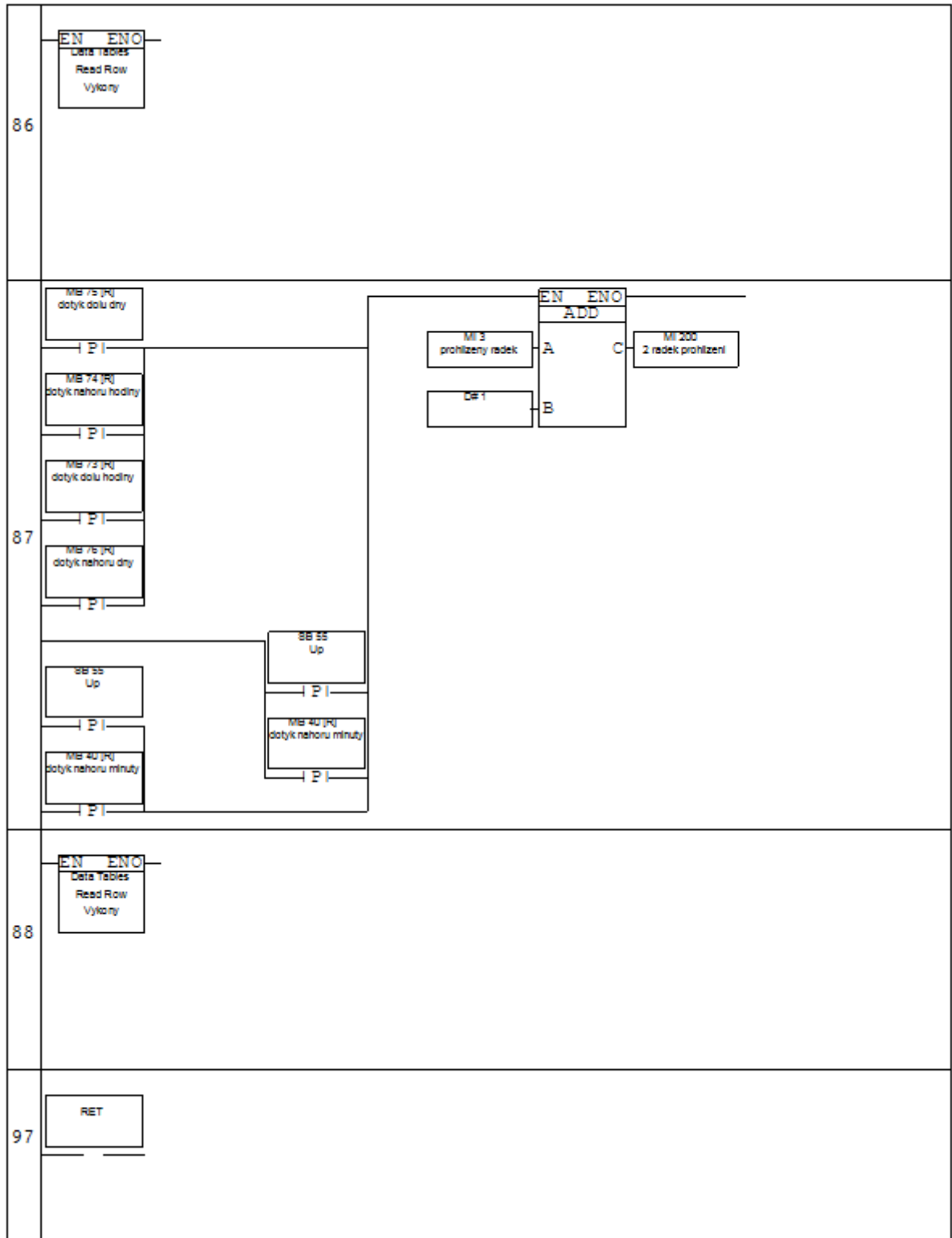












Základní obrazovka



Schéma zobrazovací aktuální stav



Prohlížení dat



Informace o systému



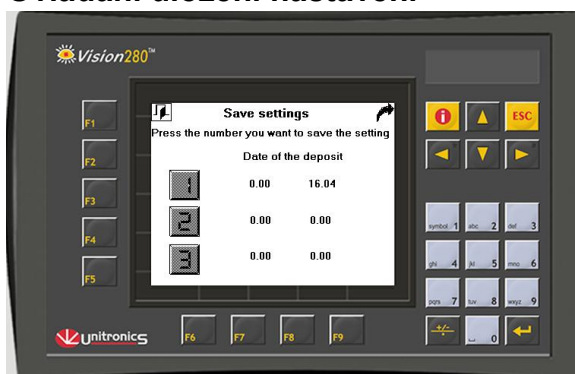
Hlavní setup



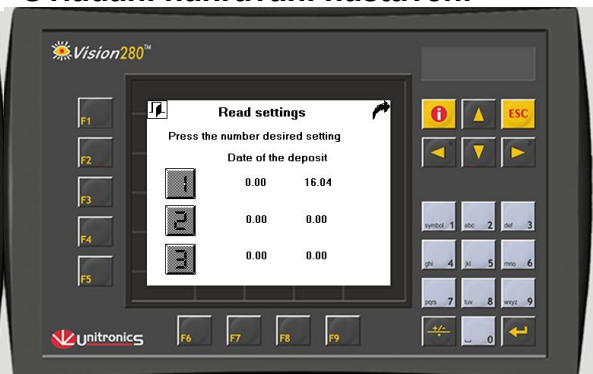
Nastavení automatického módu



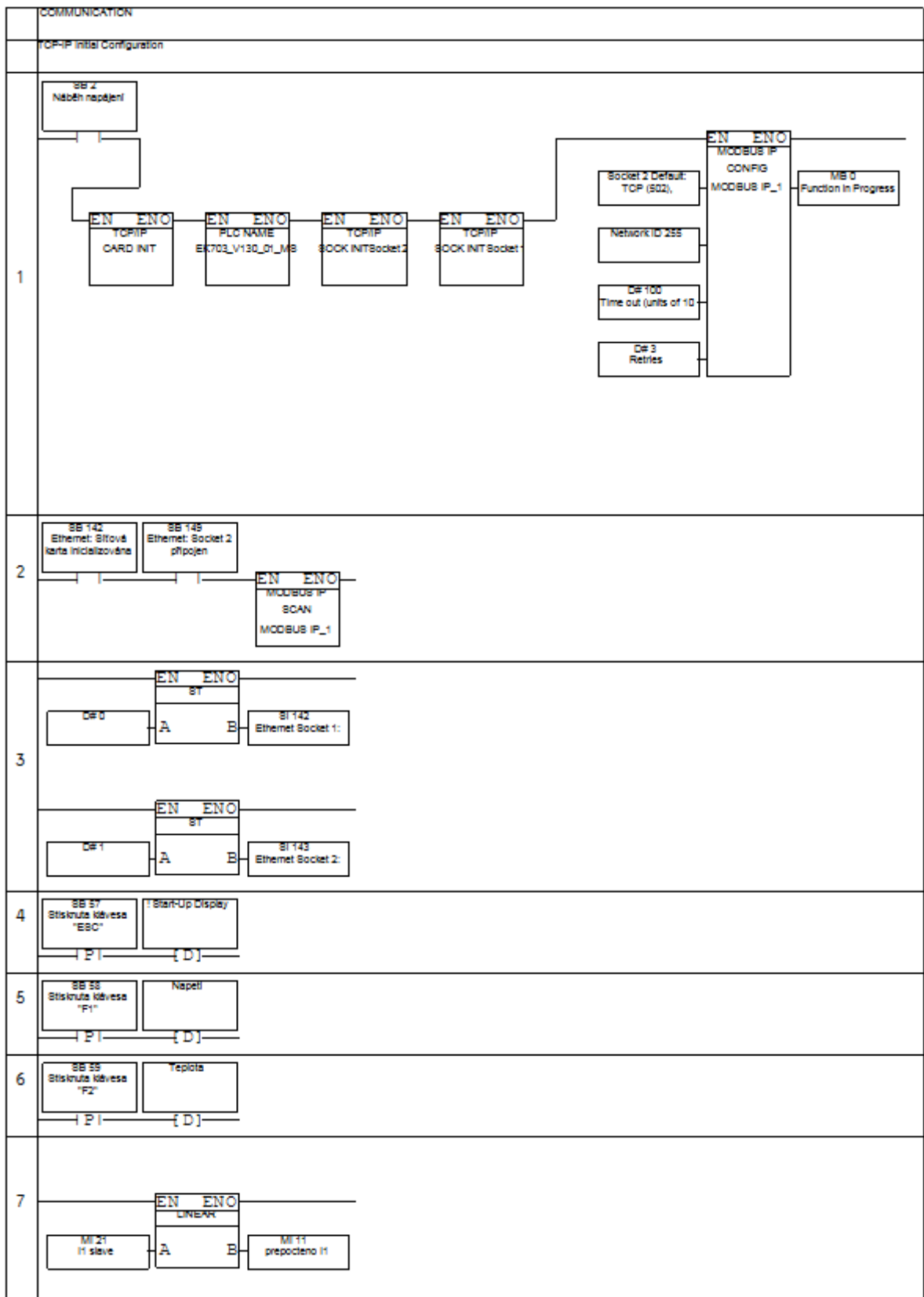
Ovládání uložení nastavení

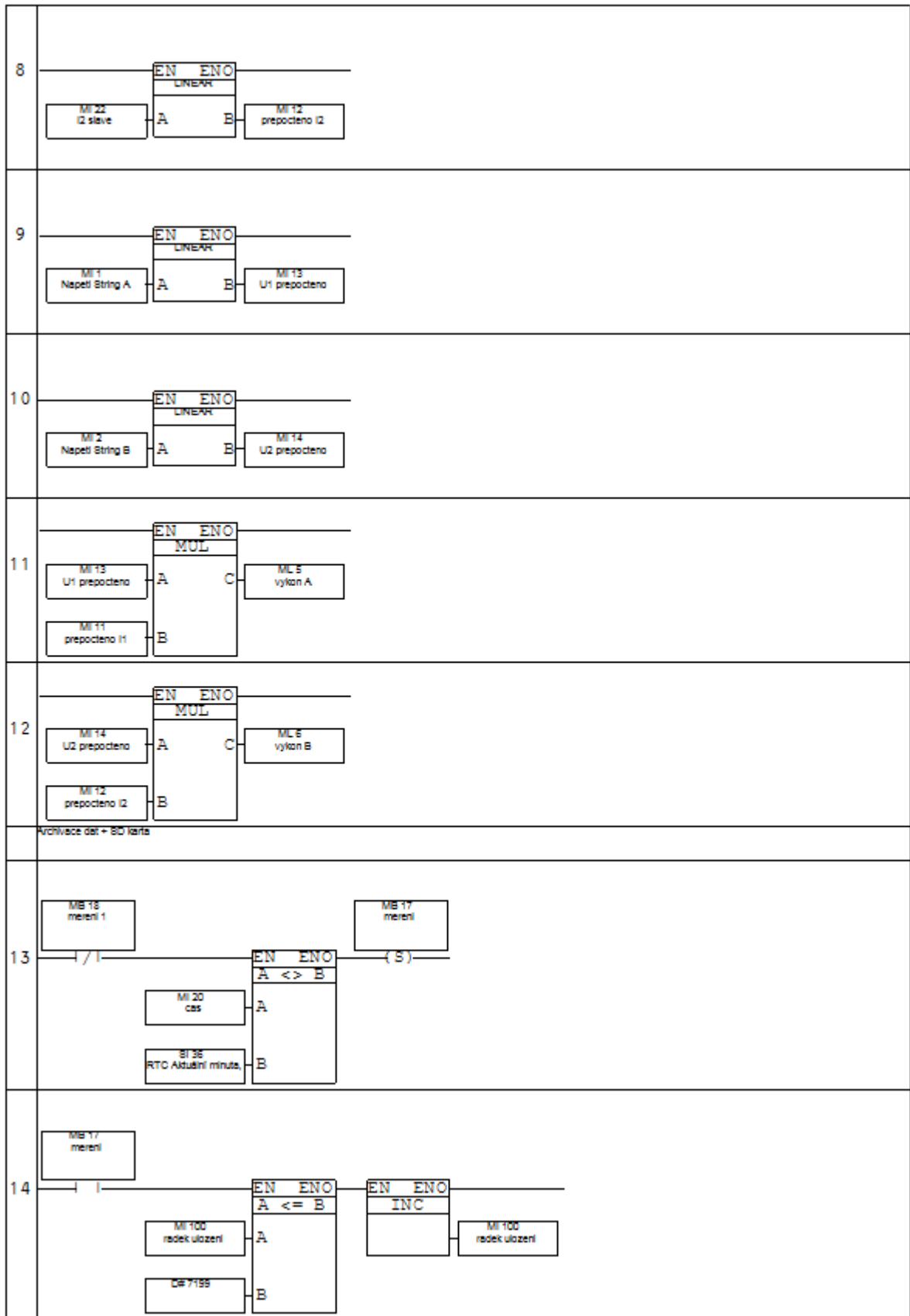


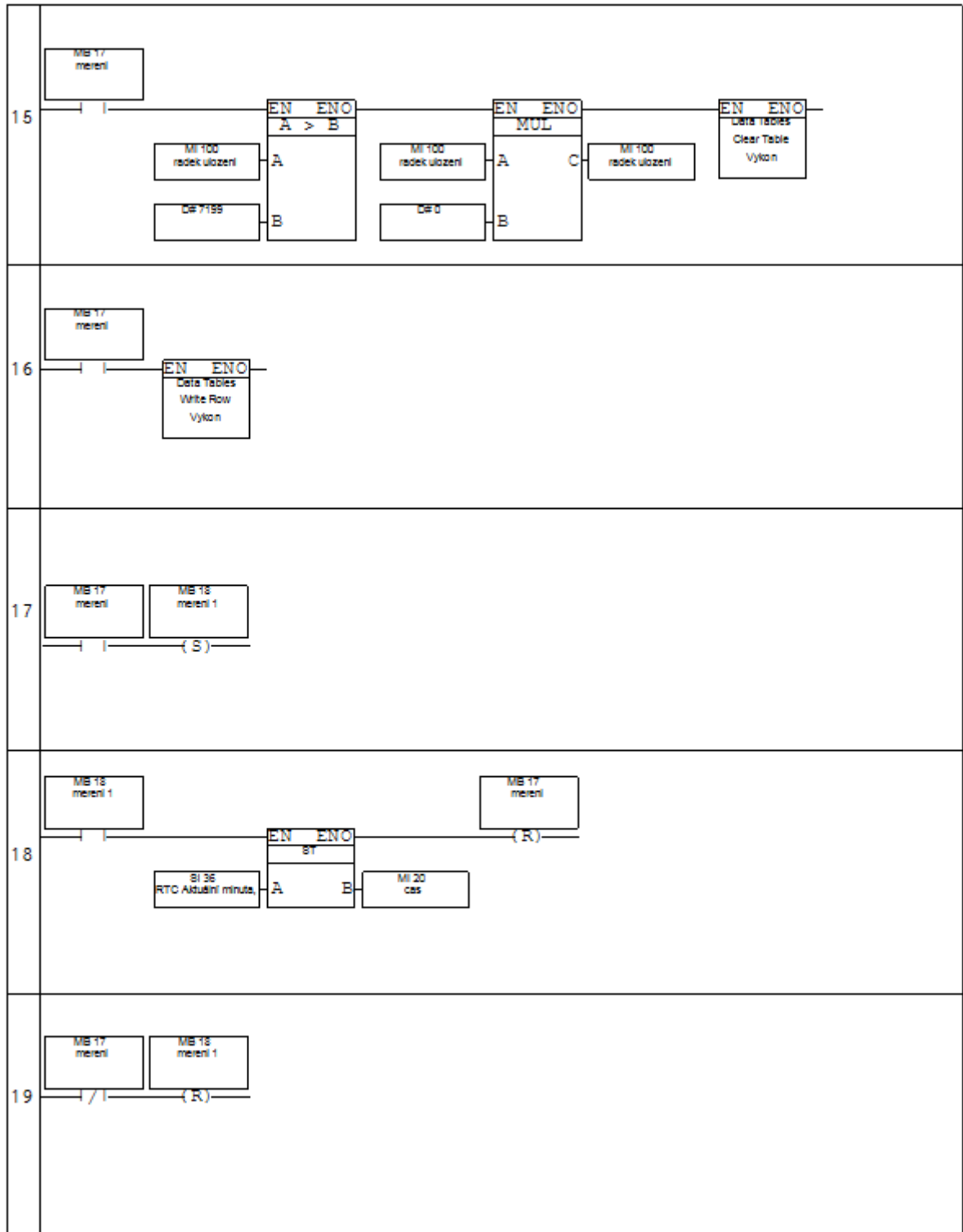
Ovládání nahrávání nastavení

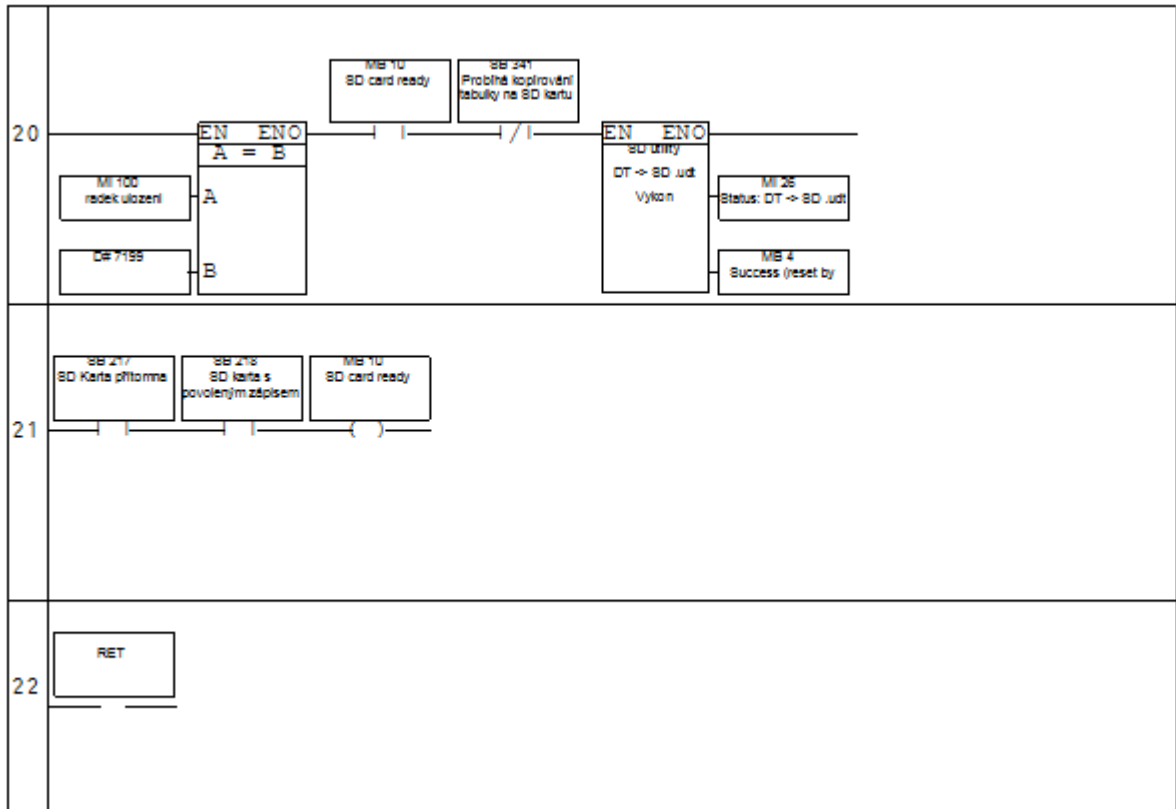


Příloha č. 2: Blokové zobrazení řídicího programu Vision130

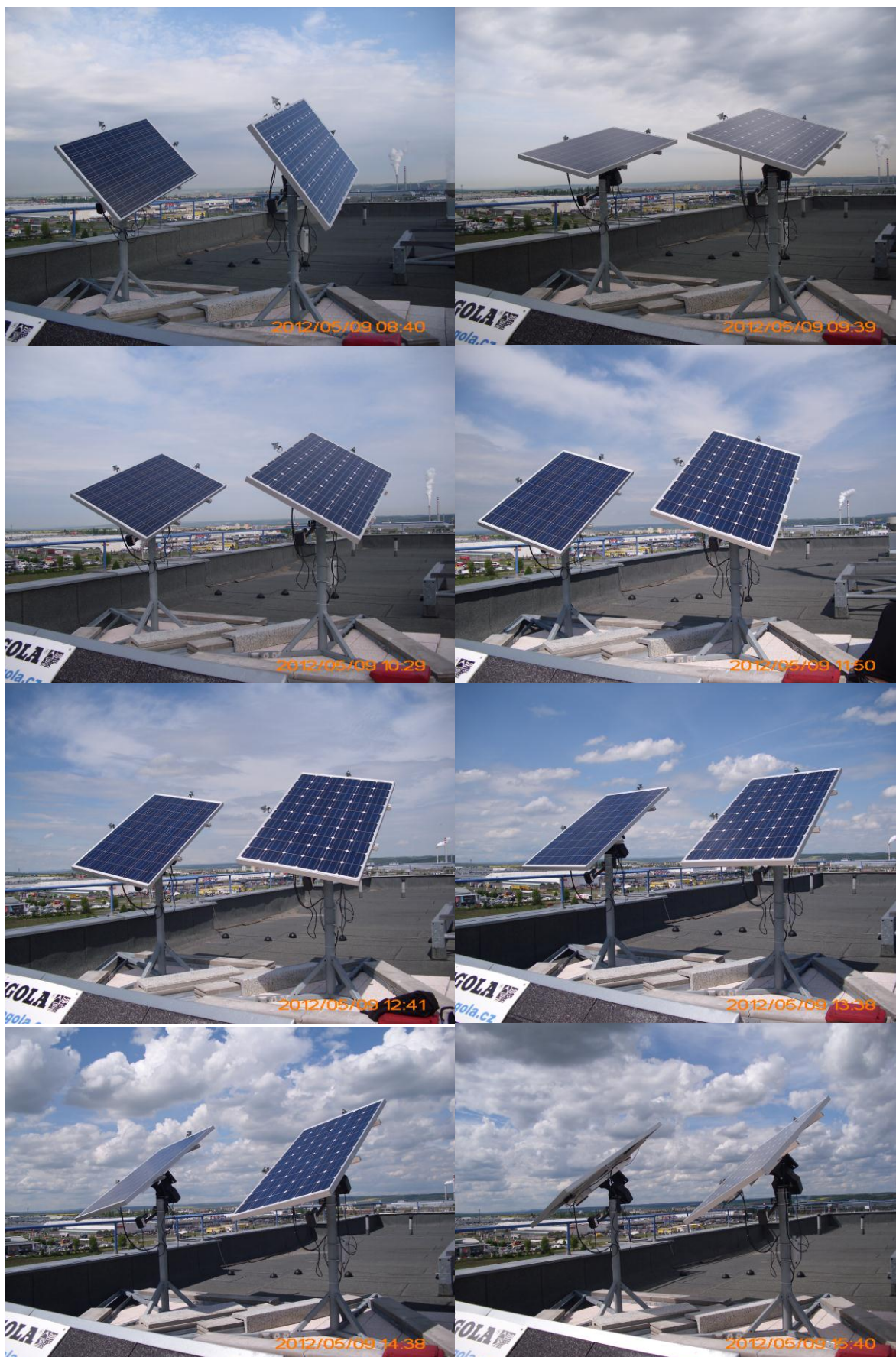








Příloha č. 3: Fotografie měření





Příloha č. 4: Tabulka měření

Hodiny	Výkon A [W]	Výkon B [W]	Napětí A [V]	Napětí B [V]	Proud A [A]	Proud B [A]	Teplota [°C]	Množství sluneční energie W/m ²
8	128,16	57	26,7	28,5	4,8	2	12,3	176
9	30,36	28,36	25,3	25,6	1,2	1,1	13,1	153
10	116,34	112,4	27,7	28,1	4,2	4	14,7	436
11	115,6	113,88	28,9	29,2	4	4	18,8	783
12	132,48	134,32	28,8	29,2	4,6	4,6	18,9	783
13	131,1	127,6	28,5	29	4,6	4,4	20,1	834
14	134,89	134,32	28,7	29,2	4,7	4,6	21,1	887
15	157,14	154,44	29,1	29,7	5,4	5,2	21,8	971
16	111,6	107,92	27,9	28,4	4	3,8	21,7	329
17	127,8	123,84	28,4	28,8	4,5	4,4	22,1	598
18	22,64	132	28,3	26,4	0,8	5	22,1	336
19	18,97	90,65	27,1	25,9	0,7	3,5	21,7	155
20	10,12	15,24	25,3	25,4	0,4	0,6	21	51