

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace modelu betonárny

Praha, 2008

Ivo Mikoška

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Ivo M i k o š k a

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Realizace modelu betonárny

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

1. Popište dílčí procesy, které jsou součástí procesu výroby betonu. Popište běžný způsob řízení takových dílčích procesů a navrhněte možná zlepšení.
2. Realizujte model betonárny ve zmenšeném měřítku.
3. S využitím systému Simatic S7 a vhodné průmyslové sítě realizujte řídicí systém.
Uvažujte síť Profibus DP nebo Profinet IO.
4. Naprogramujte řízení a realizujte vizualizaci s využitím WinCC.

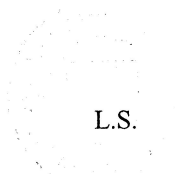
Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Burget

Termín zadání diplomové práce: zimní semestr 2006/2007

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2008

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze, dne 23.5.2008


.....
podpis

Abstrakt

Cílem diplomové práce je navrhnout vhodný řídicí program pro řízení technologie výroby betonu a dále ve spolupráci s firmou PEMTEC vyrobit model betonárny ve zmenšeném měřítku.

Beton se v dnešní době vyrábí již pouze centrálně na betonárnách, které jsou zárukou vysoké kvality betonu a jsou schopny dodávat velké množství betonu v krátkém výrobním čase. Složitý proces výroby je nutno spolehlivě řídit, přičemž největší důraz při výrobě betonu je kladen na přesné navážení jednotlivých surovin, neboť jenom díky správnému složení může vzniknout kvalitní beton, který vyhoví náročné normě pro zkoumání kvality betonu.

Pro vlastní řízení byly použity jednotky pro průmyslovou automatizaci Simatic, které na světový trh dodává firma Siemens. Vizualizace a ovládání technologie betonárny byly naprogramovány pomocí softwaru WinCC, rovněž od firmy Siemens, který přímo spolupracuje s programovatelnými automaty Simatic.

Abstract

Purpose of this dissertation is a project of available executive program to proceedings technology production of a concrete and making a model miniature concrete plant in co-operation with PEMTEC company.

Concrete is produced only at concrete plants which are able to supply a large quantity of concrete in short operation time and high quality. Complicated process of production must be unfailingly managed forcefully on exact scaling of a primary commodities. Thanks to correct composition of these commodities can be produced concrete acquitting a claim to a quality standarts.

For proceedings technology were used a components of the industrial automatization SIMATIC produced by SIEMENS company. Process visualization and control over technology was programmed by virtue of WinCC software produced by SIEMENS company too.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Burgetovi za cenné připomínky během vzniku této práce. Dále děkuji panu Petru Mikoškovi za výrobu modelu betonárny a technické rady při vytváření programu. V neposlední řadě děkuji za trpělivost a korekci textu Ing. Gabriele Vaculíkové.

OBSAH:

1. Úvod, motivace	01
1.1 Úvod	01
1.2 Motivace	01
2. Výroba betonu a jeho složky	03
2.1 Cement	03
2.1.1 Výroba cementu	04
2.1.2 Vlastnosti cementu	04
2.1.3 Volba cementu	04
2.2. Kamenivo	05
2.2.1 Rozdělení kameniva	05
2.2.2 Vlastnosti kameniva	06
2.2.3 Volba kameniva	06
2.3 Voda	07
2.3.1 Voda pro výrobu betonu	07
2.4 Přísady a příměsi	08
2.4.1 Přísady	08
2.4.1.1 Plastifikační přísady	09
2.4.1.2 Provzdušňující přísady	09
2.4.1.3 Těsnící přísady	10
2.4.1.4 Přísady zpomalující tuhnutí a tvrdnutí	10
2.4.1.5 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí	10
2.4.2 Příměsi	10
2.5 Vlastnosti betonu	11
2.5.1 Třídy betonu	12
2.5.2 Konzistence betonu	13
2.5.3 Speciální betony	14
2.5.3.1 Vysokopevnostní beton	14
2.5.3.2 Samozhutnitelný beton	14
2.5.3.3 Stříkaný beton	15
2.5.3.4 Vláknobeton	15
2.5.3.5 Silniční beton	15
2.5.4 Příklady složení jednotlivých tříd betonu	16
2.6 Výroba betonu	16

2.6.1	Centrální betonárny	17
2.6.2	Technologické části betonáren	18
2.6.2.1	Dávkování cementu	18
2.6.2.2	Dávkování kameniva	19
2.6.2.3	Dávkování vody	20
2.6.2.4	Dávkování přísad	21
2.6.2.5	Míchačka	21
2.6.2.6	Postup míchání	22
3	Přehled řídicích systémů betonáren	24
3.1	Řídicí systém firmy MARTEK ELEKTRONIK, s.r.o.	24
3.2	Řídicí systém firmy CSE spol. s r.o.	25
3.3	Řídicí systém firmy ASTERIX a.s.	27
3.4	Řídicí systém firmy PROBET s.r.o.	28
4	Výběr způsobu řešení	30
4.1	Požadavky na řídicí systém	30
4.2	Výběr řídicích jednotek	31
4.3	Profinet nebo Profibus	32
4.3.1	Profibus	32
4.3.2	Profinet	33
4.3.3	Vlastní výběr sítě	34
4.4	Vstupně/výstupní periferie	35
4.5	Vizualizace	35
5	Popis akčních členů v modelu	37
5.1	Rozdělení řídicích uzlů	37
5.2	Popis jednotlivých uzlů	38
5.2.1	Velín	38
5.2.2	Míchačka	39
5.2.3	Vážicí vůz	42
6	Realizace řídicího programu	46
6.1	Popis bloků PLC programu	46
6.2	Vizualizace	48
6.2.1	Ruční režim	50
6.2.2	Servisní režim	55
6.2.3	Kalibrace vah	57

6.2.4	Receptury	58
6.2.5	Automatický režim	60
6.2.6	Chybová hlášení	65
6.2.7	Programovací technika	66
7	Závěr, zhodnocení	68
8	Seznam použité literatury	69

PŘÍLOHY:

A. Fotogalerie

1. Úvod, motivace

1.1 Úvod

Beton je umělé stavivo, složené ze směsi drobného a hrubého kameniva, pojiva, vody a případně z přísad a příměsí upravujících jeho některé vlastnosti. Společným promícháním všech složek se získaná směs dopravuje na místo zpracování, tj. uložení do pevných forem nebo bednění, a zhutnění tak, aby formy byly zcela a řádně vyplněny. Po zatuhnutí vzniká jednolitý výrobek přesného tvaru vymezeného formou, který v dále následujícím procesu tvrdnutí nabývá požadované pevnosti a dalších vlastností.

Beton je v současné době nejrozšířenějším stavebním materiálem, který se uplatňuje ve všech stavebních oborech. Jeho vznik se zaznamenává již v r. 3600 před naším letopočtem v Egyptě. Dodnes se zachovaly zbytky betonového akvaduktu, kdysi 80 km dlouhého, u dnešního Kolína nad Rýnem a části silnice Via Apia, postavené v 1. století n.l. Římany. Jednalo se tehdy ovšem pouze o beton vápenný z hydraulického vápna (někdy i umělého vápna hydraulického pucolánového se sopečným popelem z Vesuvu). Cementový beton vznikl v druhé polovině minulého století ve Francii zavedením výroby portlandského cementu, kde se poprvé objevil i železobeton. První realizace betonu u nás skončila nezdarem, když v r. 1892 došlo ke zřícení zkušebního oblouku v Podolí, přičemž zahynul jeho autor Ing. Diss. To zpozdilo vývoj našeho betonářství asi o 20 let. Větší použití betonu začíná až po roce 1910. [1]

1.2 Motivace

Výše uvedená citace o historii betonu z knihy o technologii výroby betonu [1] je vhodným důkazem pro představu o důležitosti betonu. Většina současných staveb by totiž bez betonu vůbec nevznikla, nebo jen s velikými obtížemi. Každý dům má pro vysokou stabilitu betonové základy, nespočet sídlišť je postaveno z betonových panelů, silnice by bez betonových podkladů nebyly schopny držet rovný tvar atd.

Po dobu studia na ČVUT pracuji ve firmě PEMTEC, která se zabývá servisem strojů a strojních zařízení. V počátcích, které sahají do roku 2003, jsme získali zakázku ve firmě

Kámen Zbraslav, s.r.o. na drobnou automatizaci v recyklačním hospodářství na jedné z jejích betonáren. Postupně se tato spolupráce rozšiřovala, až jsme se stali pro Kámen Zbraslav hlavní servisní firmou v oboru elektrotechnických a následně mechanických oprav. Dále jsme rozšiřovali počet drobných automatizací na betonárnách, ovšem hlavní řídicí program při celkových rekonstrukcích dodávala jiná, v oboru zaběhlá, firma (CSE, s.r.o., MARTEK, s.r.o.). Při poruchách na těchto systémech jsme již údržbu ale zajišťovali my. Již v dřívější době vznikla myšlenka na vytvoření vlastního řídicího systému betonáren – vždy se lépe opravují vlastní chyby než ty cizí. Prozatím ale zůstalo pouze u myšlenky a až nyní jsme se rozhodli, že v rámci mé diplomové práce vytvořím řídicí program a firma PEMTEC, zastoupená panem Petrem Mikoškou, vytvoří zmenšený model pro demonstraci řídicího programu. Tento model bude dále využíván k prosazení se na trhu při nabídce řídicího systému pro betonárny. Řídicí program musí splňovat všechny náročné požadavky na přesnost jednotlivých vážených složek betonu, ošetření všech chybových stavů, jednoduché a přehledné ovládání a v neposlední řadě dostatečnou imunitu systému na chyby způsobené při jeho obsluze.

V následující kapitole budou jako první popsány vlastnosti betonů a jejich jednotlivých složek. K sepsání této kapitoly jsem využil materiálů [1], [2] a [3].

2. Výroba betonu a jeho složky

Z hlediska názvosloví rozlišujeme:

- **betonová směs** – polotovar pro výrobu betonu ve stadiu míchání do zpracování
- **čerstvý beton** – zhutněná betonová směs ve formě, avšak ještě v nezatvrdlém stavu
- **beton** – hotový výrobek ve ztvrdlém stavu

Z hlediska objemové hmotnosti rozlišujeme

- **lehký beton** – objemová hmotnost menší nebo rovna 2000 kg.m^{-3}
- **obyčejný beton** – objemová hmotnost větší než 2000 kg.m^{-3} a nejvýše rovna 2600 kg.m^{-3} , který má zpravidla povahu konstrukčního betonu
- **těžký beton** – objemová hmotnost nad 2600 kg.m^{-3} , jehož velká objemová hmotnost je nutná pro funkci konstrukce

2.1 Cement

Cementy jsou pojiva vyráběná pálením vhodných surovin až na mez slnutí a rozemletím získaných slínek na prášek. Rozdělané s vodou tuhnou a tvrdnou, získávají na pevnosti i pod vodou a mají schopnost pojít sypké látky v pevnou hmotu.

Cementy se skládají z různých mineralogických složek, které vznikají při tepelném zpracování surovin na slínek. Podle základních druhů těchto složek se cementy dělí do tří skupin:

- **křemičitanové (silikátové)** – s převažujícím obsahem křemičitanů: portlandské a směsné cementy
- **hlinitanové (aluminátové)** – s převažujícím obsahem hlinitanů
- **speciální** – s obsahem křemičitanů nebo hlinitanů se speciálními vlastnostmi nebo s určením pro zvláštní použití

Podle použití hydraulických přísad se cementy dělí na:

- **jednosložkové** – bez přísad: portlandské, hlinitanové
- **dvousložkové** – s jednou hydraulickou přísadou: struskoportlandské, vysokopecní, pucolánové aj.
- **vícesložkové** – s více než jednou hydraulickou přísadou

2.1.1 Výroba cementu

Surovinou pro výrobu cementu jsou různé druhy vápenců, slínů a křídý. Z těžené suroviny se připravuje surovinová směs, tzv. slínek (drcení, míchání, homogenizování, korekce chemického složení, mletí a tepelné zpracování). Cement se potom vyrábí drcením slínku a společným mletím s přísadami na jemný prášek s měrným povrchem na $225 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$.

2.1.2 Vlastnosti cementu

Mechanické a fyzikální požadavky na jednotlivé třídy cementu jsou uvedeny v tabulce 2.1

Pevnostní třída	Pevnost v tlak [MPa]				Počátek tuhnutí [minut]	Objemová stálost [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			≤ 10
	2 dny	7 dní	28 dní			
32,5	---	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	
32,5 R	≥ 10	---				
42,5	≥ 10	---	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20	---				
52,5	≥ 20	---	≥ 52,5	---	≥ 45	
62,5 R	≥ 30	---				

Tab. 2.1 Mechanické a fyzikální požadavky na cement dle ČSN EN 197 – 1

2.1.3 Volba cementu

Je ovlivněna zvláště účelem konstrukce, teplotou prostředí při výrobě a ukládání betonu, požadovanou rychlostí tvrdnutí a prostředím, které bude na beton působit. Z hlediska volby třídy cementu je ovlivněn požadavek na pevnost betonu nebo důležitost konstrukce z hlediska trvanlivosti. Při stejném množství cementu na m^3 betonu dává cement vyšší třídy vyšší pevnost betonu a naopak z cementu stejné třídy se získá pevnější beton vyšší dávkou cementu. Aby nastalo dokonalé vzájemné spojení zrn kameniva, je třeba minimálního množství cementu, bez ohledu na jeho třídu, a to asi 100 kg na m^3 hotového betonu. Optimální množství je takové, aby cementová kaše obalila všechna zrna kameniva a vyplnila

všechny mezery mezi kamenivem. Proto pro betony vyšších pevností se musí použít cementů vyšších tříd, pro betony konstrukcí méně náročných s nižšími pevnostmi cementů nižších tříd.

2.2 Kamenivo

Kamenivem rozumíme anorganický materiál přírodního nebo umělého původu používaný k výrobě betonové směsi, v dopravním stavitelství, k násypům, podsypům, úpravám terénu apod. Ke kamenivu řadíme zrna asi do velikosti 125 mm, větší kusy se považují za lomový kámen.

2.2.1 Rozdělení kameniva

Podle původu se kamenivo dělí na přírodní a umělé.

Přírodní kamenivo – získává se těžbou a dobýváním z přírodních ložisek vhodných hornin či zemin. Může být těžené, vzniklé přirozeným rozpadem hornin a vyznačující se převážně zaoblenými zrny, nebo drcené, typické svými nepravidelnými zrny s ostrými hranami. Těžené kamenivo získáváme z říčních náplavů nebo z ložisek rozpadlých hornin (kopaný písek). Drcené kamenivo se vyrábí umělým drcením hornin vhodného složení.

Umělé kamenivo – zahrnuje materiály z průmyslových odpadů neupravených či upravených a kameniva uměle vyráběná zpevněním částic některých zemin nebo hornin, případně tepelnou úpravou přírodních horninových částic.

Podle objemové hmotnosti jednotlivých zrn se dělí kamenivo na hutné s objemovou hmotností nad 2000 kg.m^{-3} , pórovité s objemovou hmotností do 2000 kg.m^{-3} a těžké s objemovou hmotností nad 3000 kg.m^{-3} . Z hlediska velikosti zrn kameniva se v technické praxi rozeznává kamenivo drobné (písek) a kamenivo hrubé (štěrk – v betonářském názvosloví), hranicí je čtvercové síto o hraně 4 mm. Ve stavební praxi se používají ještě upřesňující termíny: drť – pro drcené kamenivo do velikosti 22 mm, štěrk (v dopravním stavitelství) pro zrna větší než 22 mm, dále štěrkopísek a štěrkodrt'. Při drcení a třídění kameniva vzniká jako odpad kamenná moučka a výsivky, což je odpad bez zaručené jakosti.

2.2.2 Vlastnosti kameniva

U kameniva nás nejvíce zajímá následující výčet vlastností, které jsou dle příslušných norem testovány:

- **objemová hmotnost** – u hutného kameniva je poměrně stálá většinou v rozmezí $2400 \text{ kg.m}^{-3} - 2600 \text{ kg.m}^{-3}$
- **sypká hmotnost** – závisí nejen na druhu kameniva, ale i na jeho setřesení a velikosti zrn. U hutného kameniva bývá od $1300 \text{ kg.m}^{-3} - 2000 \text{ kg.m}^{-3}$, u pórovitého třeba jen 100 kg.m^{-3}
- **velikost zrn kameniva** – určuje se prosíváním sadou sít o různé velikosti otvorů. Proto je zavedena základní řada kontrolních sít se čtvercovými otvory o straně (mm): 125 – 63 – 32 – 16 – 8 – 4 – 2 – 1 – 0,5 – 0,25 – 0,125 – 0,063
- **počet odplavitelných částic a hliněných hrudek** – Pro kamenivo do betonu je povolen obsah max. 1 % hmotnosti
- **vlhkost a nasákavost kameniva** – stanovuje se jako úbytek hmotnosti vlhkého kameniva, které nastává jeho vysušením při 105 až 110 °C
- **mechanická pevnost** – určuje se pevnost v tlaku
- **odolnost proti mrazu**
- **objemová stálost**

2.2.3 Volba kameniva

K výrobě betonu se používá přírodního hutného kameniva těžného nebo drceného, jehož vhodnost je obecně prokázána, pokud:

- hutné a těžké kamenivo vyhoví prEN 12620:2000
- pórovité kamenivo vyhoví prEN 13055-1:1997

Při výběru kameniva je nutné vzít v úvahu typ prováděné betonáže a konečné využití betonu, podmínky okolního prostředí působící na beton a případné požadavky na obnažené kamenivo povrchové úpravy nebo na kamenivo pro hlazený povrch betonu. Obecně mají být zrna kameniva co nejvíce kulová nebo krychelná s rozměry ve směru tří os na sebe kolmých co nejvíce stejnými. Taková zrna dávají nejmenší specifický povrch a spotřebují ke svému

obalení nejméně cementového tmele. Přírodní šterky dávají betonovou směs lépe zpracovatelnou, protože jejich povrch je hladký. Pokud není jejich povrch abnormálně hladký, přilne k nim dostatečně cementový tmel. Drcené šterky mají povrch drsnější, který se sice lépe spojuje s cementovým tmelem, ale směs je méně pohyblivá, hůře se zpracovává. Proto pro dosažení betonu stejné pevnosti je třeba intenzivnější hutnění u šterku drceného než u přírodního.

2.3 Voda

Pro výrobu betonových výrobků a konstrukcí je třeba rozlišovat tři druhy vody – vodu záměsovou, která je složkou betonu, vodu ošetřovací, kterou se kropí hotový beton po určité době jeho tvrdnutí a vodu agresivní, kterou se míní voda působící na beton v průběhu jeho životnosti.

V betonářské technologii má voda dvojí význam, a to jednak reologický, kdy umožňuje vytvářením dobře zpracovatelné čerstvé betonové směsi zpracování do žádaného tvaru, jednak hydratační, kdy je nezbytnou podmínkou pro zahájení hydratačních reakcí jednotlivých minerálů cementového slínku potřebných pro vznik tuhé struktury cementového kamene.

2.3.1 Voda pro výrobu betonu

Pro vlastní hydrataci cementu je zapotřebí takové množství záměsové vody, které bude chemicky vázáno s mineralogickými složkami cementu. Toto množství tedy závisí na složení cementu a na jemnosti jeho mletí a bývá asi 23-28 % z hmotnosti cementu. S tímto teoretickým množstvím vody je však betonová směs prakticky nezpracovatelná, protože je příliš suchá a rovněž nelze zabránit částečnému odpařování vody při přípravě, takže by proces hydratace nemohl proběhnout úplně. Proto je celkové množství záměsové vody vyšší.

Záměsová voda musí vyhovovat požadavkům na kvalitu odpovídající podmínkám stanoveným v ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu – Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako

záměsové vody do betonu. Podle této normy je voda vhodná pro výrobu betonu rozlišována s ohledem na původ na následující typy:

- voda pitná
- voda získaná při recyklaci v betonárně
- podzemní voda
- povrchová a odpadní průmyslová voda
- mořská nebo poloslaná (brakická) voda
- splašková voda

Voda pitná se považuje bez zkoušení za vhodnou, ostatní typy vod je třeba odzkoušet, zda odpovídají normovým požadavkům.

2.4 Přísady a příměsi

2.4.1 Přísady

Jsou to tekuté nebo práškovité látky, které svým chemickým nebo fyzikálním účinkem ovlivňují vlastnosti betonové směsi i ztvrdlého betonu. Účinky přísad jsou rozmanité a jsou založeny mimo jiné na elektrochemických procesech provázejících hydrataci cementového pojiva. Přísady se dávkuje do betonové směsi ve velmi malých množstvích – podle druhu od 0,1 do 2 % (maximálně 5 %) z hmotnosti cementu, přesto tato malá množství ve srovnání s ostatními složkami betonu často i velmi podstatně mění jeho vlastnosti. Přísady lze rozdělit podle účinku na vlastnosti betonu až na 18 základních druhů, z nichž nejdůležitější budou popsány dále.

Každá přísada má nejméně jeden hlavní účinek, ale současně může mít i vedlejší účinky. Ty mohou příznivě i negativně ovlivňovat vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Velikost účinku přísad lze většinou měnit její dávkou. Přísady je dovoleno používat jen na základě odborného posouzení jejich účinků na všechny stavebně důležité vlastnosti betonu.

Přísady musí vyhovovat stanoveným technickým parametrům a hygienickým předpisům, plastifikační a provzdušňovací potom podléhají povinnému schvalování státní zkušebnou.

V moderní technologii betonu je použití přísad velmi často nevyhnutelné. Například použití provzdušňujících přísad do mrazuvzdorných betonů a betonů s vysokou odolností proti rozmrazovacím solím pro cementobetonové kryty vozovek je povinné. Předpokladem úspěšné aplikace přísady je ale vždy existence dobrého betonu.

2.4.1.1 Plastifikační přísady

Snížují povrchové napětí vody, a tím zvyšují smáčecí schopnost záměsové vody. Výsledkem je zlepšení zpracovatelnosti betonové směsi. Při ponechání stejné zpracovatelnosti betonové směsi na původní úrovni je možno snížit dávku záměsové vody v rozmezí od 5 do 15 % a docílit vyšší pevnosti betonu. Snížení dávky záměsové vody je možné využít (při zachování vodního součinitele na původní hodnotě) pro snížení dávky cementu. Plastifikační přísady dále přispívají k rovnoměrnému rozptýlení cementu v betonové směsi, což se projevuje větší aktivitou povrchu cementových zrn při hydratačním procesu tvrdnutí a zvýšením počátečních pevností betonu.

2.4.1.2 Provzdušňující přísady

Způsobují v čerstvém betonu vytvoření většího množství rovnoměrně rozptýlených drobných vzduchových bublinek velikosti 50 – 200 μm . Tyto bublinky zůstávají v betonu i po jeho ztvrdnutí. Vzduchové bublinky přerušují kapiláry tvořící se v cementové kaši při její hydrataci a vytvářejí tak záložní prostor pro expandující mrznoucí vodu v kapilárách. Jestliže má být provzdušněný beton odolný proti účinkům mrazu, musí být bublinky velmi blízko sebe (max. 0,25 mm) a jejich počet musí být velmi vysoký. To se projevuje celkovým obsahem vzduchu v provzdušněném betonu, který je též závislý na velikosti zrna hrubého kameniva. Beton s maximálním zrnem 16 mm má mít obsah vzduchu 6,5 %, při zrně 63 mm pak 4%. Provzdušněný beton má menší objemovou hmotnost oproti neprovzdušněnému – o 24 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na každé procento provzdušnění. Pevnost provzdušněného betonu je však menší a klesá přibližně o 4 % na každé procento provzdušnění.

2.4.1.3 Těsnící přísady

Zmenšují nasákavost a rovněž průsak vody betonem. Působí většinou hydrofobně nebo fyzikálně přerušením či zúžením kapilárních pórů.

2.4.1.4 Přísady zpomalující tuhnutí a tvrdnutí

Vytvoří na cementových zrnech ochranný film, čímž se dosáhne výrazného zpomalení tuhnutí. Tímto zpomalením je možné prodloužit zpracovatelnost betonu při ukládání do konstrukce i o několik hodin, a tím se vyhnout například pracovním spárám u vodotěsného betonu, které mohou být zdrojem průsaku vody. Jako přísady zpomalující tuhnutí je možno použít cukry, deriváty uhlovodíků, rozpustné zinečnaté soli, rozpustné boritany ap. Například již při malé dávce cukru (0,05% z hmotnosti cementu) se prodlouží čas tuhnutí asi o 4 hodiny. Přesný údaj zpomalení vždy závisí na chemickém složení cementu, proto je vždy nutno retardační účinky předem odzkoušet.

2.4.1.5 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí

Ovlivňují čas hydratace. Začátek tuhnutí nastává o 1-3 hodiny dříve a průběh tuhnutí je obvykle o 1 hodinu kratší. Tím se dosahuje vysokých počátečních pevností betonu. Například ve stáří 3 dnů je pevnost betonu v tlaku s přísadou o 25 % vyšší než u obyčejného. Ale při srovnání pevnosti v dalších termínech (7 dní, 28 dní) již rozdíly nejsou, naopak po 6 měsících až 1 roku lze shledat snížení pevnosti betonu s přísadou asi o 10 % proti betonu kontrolnímu bez přísady.

2.4.2 Příměsi

Jedná se o práškovité minerální látky, někdy i organického původu, které mají příznivě ovlivnit vlastnosti čerstvého i ztvrdlého betonu. Dávkují se zpravidla ve větším množství než přísady do betonu. Jako anorganické příměsi se používají tras, vápenec, elektrárenský popílek, kamenná moučka, křemičitý úlet, bentonit a pigmenty. Organické příměsi (plasty, kaučuk, živice) se používají do vodotěsných a velmi pružných betonů.

2.5 Vlastnosti betonu

Pro beton jako konstrukční nosnou hmotu jsou nejdůležitější jeho mechanické vlastnosti a trvanlivosti v různém prostředí. Vlastnosti betonu lze rozdělit do dvou skupin:

- vlastnosti čerstvého betonu
- vlastnosti ztvrdlého betonu

1. Základní vlastnosti čerstvého betonu jsou:

- konzistence
- teplota čerstvého betonu
- objemová hmotnost
- obsah vzduchu (u provzdušněného betonu)
- obsah vody a vodní součinitel
- odlučování vody (bleeding)
- tuhnutí betonu

2. Základní vlastnosti ztvrdlého betonu jsou:

- pevnosti:
 - v tlaku
 - v prostém tahu
 - v tahu za ohybu
 - v příčném tahu
- modul pružnosti
- vodotěsnost
- mrazuvzdornost
- odolnost proti posypovým solím
- objemová hmotnost, nasákavost, vztlínavost
- rozložení vzduchových pórů v betonu (u provzdušněného betonu)
- objemové změny

2.5.1 Třídy betonu

Třídou betonu se označuje jakost betonu vyjádřená pevností. Číselná hodnota třídy ve formě zlomku podle ČSN EN 206-1 za písmenem C vyjadřuje zaručenou válcovou $f_{ck,cyl}$ v čitateli a krychelnou pevnost betonu $f_{ck,cube}$ ve jmenovateli v MPa, která se dosahuje se statistickou zárukou 95 % na zkušebních tělesech o požadované délce stárnutí 28 dnů.

Válcová pevnost se stanovuje na zkušebních tělesech tvaru válců průměru 150 mm a výšky 300 mm. Krychelná pevnost se stanovuje na zkušebních krychlích s délkou hrany 150 mm ve stáří 28 dnů.

Třída	C 8/10	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50
$f_{ck,cyl}$ [MPa]	8	12	16	20	25	30	35	40
$f_{ck,cube}$ [MPa]	10	15	20	25	30	37	45	50
Třída	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	C100/115
$f_{ck,cyl}$ [MPa]	45	50	55	60	70	80	90	100
$f_{ck,cube}$ [MPa]	55	60	67	75	85	95	105	115

Tab. 2.2 Pevnostní třídy betonu podle ČSN EN 206 – 1

Jelikož je stále v platnosti výpočtová norma ČSN 731201 pro betonové konstrukce uvádím zde i tabulku tříd dle této normy (viz Tab. 2.3). Číselná hodnota třídy za písmenem B vyjadřuje zaručenou krychelnou pevnost v tlaku v MPa.

Třída	B 5	B 7,5	B 10	B 12,5	B 15	B 20	B 25	B 30	B 35	B 40	B 45	B 50	B 55	B 60
Zaručená krychelná pevnost [MPa]	5	7,5	10	12,5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tab. 2.3 Třídy betonu podle ČSN 73 1201

Betony se vždy označují třídou a jsou-li požadovány ještě další předepsané a kontrolované vlastnosti, označí se dále symbolem příslušného druhu s číselným označením hodnoty další požadované vlastnosti.

2.5.2 Konzistence betonu

Konzistence charakterizuje zpracovatelnost čerstvé betonové směsi. Podle konzistence se volí i způsoby hutnění betonu. Konzistence se stanovuje:

- sednutím kužele – S
- zkouškou VeBe – V
- rozlitím – F
- indexem zhutnění – C

Zkouška sednutím kužele a rozlitím jsou vhodné pro měkké až tekuté směsi transportbetonu. Zkouška rozlitím pak pro betony vyloženě tekuté. Index zhutnění a zkouška VeBe jsou spíše určeny pro betony velmi tuhé a tuhé konzistence používané v prefabrikaci.

Zpracovatelnost vylepšíme (zvýšení sednutí kužele nebo rozliti, snížení hodnoty Vebe):

- zvýšením vodního součinitele
- použitím plastifikátorů a superplastifikátorů potřebné koncentrace
- použitím provzdušňovací přísady
- částečně zvýšením množství cementu a příměsí,
- kamenivem s větší mezerovitostí a menším měrným povrchem (snížíme podíl frakce 0/4 mm)

Konzistence betonu se označuje S0 – S6, přičemž jednotlivé charakteristické vlastnosti konzistence jsou uvedeny v tabulce 2.4.

Konzistence	Označení	S [mm]	F [mm]	V [s]	C [-]
Velmi tuhá	0	-	-	≥ 31	$\geq 1,46$
Tuhá	1	10-40	≤ 340	21-30	1,26-1,46
Měkká	2	50-90	350-410	11-20	1,11-1,25
Velmi měkká	3	100-150	420-480	10-5	1,04-1,1
Tekutá	4	≥ 160	490-550	5-3	-
	5	≥ 220	560-620	-	-
	6	-	≥ 630	-	-

Tab. 2.4 Konzistence čerstvého betonu dle ČSN EN 206-1

2.5.3 Speciální betony

Do kategorie speciálních betonů počítáme především betony, u kterých některý z klíčových parametrů nabývá (alespoň ve srovnání s betonem pro obecné použití) neobvyklé hodnoty. Do této kategorie tedy patří betony s neobvyklou vodotěsností (betony vodostavební), případně dalšími speciálními vlastnostmi, objemovou hmotností (lehké a těžké betony), pevnostní (vysokopevnostní betony), zpracovatelností (samozhutnitelné betony) a odlišnými technologiemi zpracování (např. stříkaný beton, vakuovaný beton).

Je sem možné dále počítat betony jejichž formulace se výrazněji liší od běžně používaného betonu. Počítáme sem tedy betony s drobným plnivem (cementové potěry), betony plněné rozptýlenou výztuží (vláknobetony) a betony s odlišným pojivovým systémem (polymercementové betony, polymerbetony).

Pro zajímavost uvádím bližší specifikaci některých druhů speciálních betonů:

2.5.3.1 Vysokopevnostní beton

Tímto pojmem se rozumí betony pevnostní třídy od 65 MPa pevnosti v tlaku a označují se symbolem HSC (High Strength Concrete). Patří do poměrně nedávno vytvořené skupiny tzv. vysokohodnotných betonů (High Performance Concrete – HPC, 1993). Betony vysokých pevností byly používány ale již mnohem dříve, např. pro konstrukce těžebních plošin a výškových budov zejména v USA.

Tento beton dosahuje za 24 hodin asi 50 MPa pevnosti v tlaku a v normových podmínkách za 28 dní 80 až 120 MPa. Beton vyniká hutností, a tím je částečně odolný v mírně kyselém prostředí, odolný proti mrazu a je ideálním konstrukčním materiálem jak pro dílce, tak pro monolitické konstrukce.

2.5.3.2 Samozhutnitelný beton

Druhově patří do skupiny vysokohodnotných betonů jako betony HSC. Pro samozhutnitelný beton bylo přijato označení symbolem SCC (Self-Compacting Concrete). Hlavní charakteristikou je schopnost tečení čerstvého betonu bez působení vnějších

dynamických sil, odolnost proti rozměšování a segregaci hrubých zrn kameniva a schopnost zhutnění vlastní hmotností.

2.5.3.3 *Stříkaný beton*

Místo ukládání směsi do forem nebo bednění a jejího hutnění se někdy betonová směs vhodného složení nanáší stříkáním stlačeným vzduchem speciálním stříkacím zařízením. Prudkým nanášením se získá dobrá přilnavost k podkladu a hutnost vrstvy.

Stříkané betony se používají při zesilování betonových a železobetonových konstrukcí, při zvyšování jejich trvanlivosti, při provádění ohnivzdorných, tepelněizolačních, vodoizolačních a zvukoizolačních vrstev a zejména při provádění rekonstrukčních a sanačních prací. Technika stříkání zjednodušuje i provádění nových tenkostěnných železobetonových konstrukcí. Je jí možno s výhodou použít při provádění zpevňování svahů, při stavbě silnic a železnic, zpevňování ostění apod.

2.5.3.4 *Vláknobeton*

Vláknobetony jsou speciální typy konstrukčních betonů, u kterých se již při jejich výrobě k běžným složkám přidávají vhodná vlákna, která plní funkci rozptýlené výztuže. Rovnoměrným rozptýlením vláken ve struktuře betonu mohou být významným způsobem ovlivněny některé jeho vlastnosti, obvykle považované za nedostatky obyčejného betonu. Je to především schopnost lépe odolávat projevům objemových změn betonu vlivem smršťování a působení okolní teploty, a to nejen během tuhnutí čerstvého betonu, ale při použití vhodných vláken i po ztvrdnutí betonu.

2.5.3.5 *Silniční beton*

Vozovkové konstrukce se budují za použití asfaltového nebo cementového betonu. Každá vrstva konstrukce vozovky má svoji funkci (podkladní, konstrukční, obrusnou, drenážní apod.). Podle třídy dopravního zatížení se cementobetonové kryty dělí do pěti skupin (viz tab. 2.5). Používá se cementobetonový kryt jednovrstvý nebo dvouvrstvý (tj. dvoufázově

betonovaný kryt, kde horní obrusná vrstva se pokládá na čerstvý beton spodní vrstvy). Kryt se mechanicky ukládá na podkladní vrstvu.

Skupina	Specifikace komunikace	Třída dopravního zatížení dle ČSN 73 6114	Tloušťka [mm]	
			min.	max.
L	Letištní dráhy a plochy delší 1200 m	-	220	400
I.	Dálnice a rychlostní silnice	I – II	220	260
II.	Silnice I.třídy	II – III	200	240
III.	Silnice II.tř. a III. tř., park. nákl. aut	III – IV	150	220
IV.	Místní a účelové komunikace, parkoviště osobních aut	IV - IV	100	180

Tab. 2.5 Členění cementobetonových krytů vozovek

2.5.4 Příklady složení jednotlivých tříd betonu

V tabulce 2.6 jsou uvedeny příklady hmotnostního složení základních typů betonů, vztažené na množství výroby o objemu 1 m³.

Typ betonu	Cement [kg]	Frakce 0/4 [kg]	Frakce 4/8 [kg]	Frakce 8/16 [kg]	Frakce 16/22 [kg]	Příměs Popílek [kg]	Přísada [kg]	Voda [kg]
B10	180	790	0	490	495	165	0	84
C12/15	265	940	120	500	360	0	2,3	185
B20	280	820	0	555	390	100	2,2	190
B25	315	820	0	555	390	45	2,52	190
C25/30	355	812	0	940	0	20	2,8	180
C30/37	400	850	120	760	0	30	3,4	176
C35/45	730	750	120	525	350	0	3,5	170

2.6 Výroba betonu

Výroba betonové směsi a betonu se provádí podle výrobního předpisu, který musí zajistit pro danou technologii výroby požadované vlastnosti betonu. Výrobní předpis proto obsahuje údaje o množství jednotlivých složek, jejich druh a původ, údaje o době míchání a postupu dávkování, údaje o způsobech dopravy, zpracování pro stanovený způsob hutnění, o způsobech ošetřování a případně o dalších požadavcích na výrobu a vlastnosti betonu.

Betonová směs se vyrábí strojně, jen výjimečně u podřadných konstrukcí nebo při poruše strojního zařízení, ručně. Výroba velkého množství betonů na stavbách, ve výrobnách prefabrikátů a v centrálních betonárnách je prováděna dnes již na zařízeních mechanizovaných, poloautomatických nebo plně automatizovaných řízených počítačem.

Betony lze rozdělit do různých druhů podle způsobu výroby, podle účelu použití nebo podle dalších jiných zvláštních vlastností než je pevnost jako např. objemová hmotnost, vodotěsnost, mrazuvzdornost atd. Dominantní vlastnost, která je u betonu sledována, je ovšem jeho pevnost, jelikož se od ní odvíjejí ostatní parametry.

2.6.1 Centrální betonárny

Jsou závody na výrobu betonových směsí, kde se betony nadávkuje, zamíchají a rozvázejí na různá stanoviště v okruhu do cca 20 km speciálními automobily. Pro měkké a tekuté konzistence se používají autodomíchávače, pro přepravu čerstvého betonu o zavlhlé konzistenci lze použít vozidel i bez míchání. Takto dodaný beton je ukládán jako monolitický do bednění a nazýváme ho transportbeton. Přepravované prefabrikáty nejsou transportbeton. Výhodou tohoto způsobu výroby je:

- průmyslový charakter výroby zajišťuje rovnoměrnost a kvalitu dodávaného betonu
- možnost v krátké době dodat velká množství čerstvého betonu
- při rozsáhlých stavebních záměrech možnost kooperace různých výroben
- záruky, které dnes výrobci běžně poskytují

Transportbeton je polotovár vyráběný v betonárně z výchozích složek. Betonárna pracuje jako podnik, který kupuje složky a vyrábí zboží – čerstvý beton. Transportbeton není zhotovován na sklad, nýbrž je dodáván k okamžité spotřebě. Pro výrobu transportbetonu je zapotřebí:

- **skladování složek** – jednotlivé složky musí být dopravovány a skladovány tak, aby nedocházelo ke znečištění a vzájemnému promíchávání nebo znehodnocení
- **dávkování složek** – dávkovací zařízení musí umožňovat v provozních podmínkách požadovanou přesnost, uváděnou v ČSN EN 206-1 (viz tabulka 2.6). Dávkování cementu, kameniva, příměsí se provádí hmotnostně, voda a tekuté příměsi hmotnostně nebo objemově. Malá množství přísad se dávkuje do části záměsové vody nebo samostatně. Dávkování vody je nutno přizpůsobit aktuální vlhkosti kameniva, aby byl dodržen vodní součinitel a konzistence betonu.

Složka	Přesnost
Cement Voda Veškeré kamenivo Příměsi	$\pm 3\%$ z potřebného množství
Přísady	$\pm 5\%$ z potřebného množství

Tab. 2.6 Přesnost dávkování složek dle ČSN EN 206 – 1

- **míchání složek** – míchačky musí být takové, aby se během doby míchání daného objemu betonu dosáhlo rovnoměrného promíchání složek a stejnoměrné konzistence betonu. Míchání složek betonu se musí provádět v míchačce s výše uvedeným požadavkem tak dlouho, až je vzhled betonu stejnorodý. Míchačka se nesmí plnit nad předepsanou kapacitu. Případné přísady se musí přidávat během hlavního mísicího procesu s výjimkou ztekutňujících nebo plastifikačních přísad, které se mohou přidat po hlavním míchání. V tom případě se beton musí znovu zamíchat, dokud není přísada zcela rozptýlena v záměsi nebo dávce a nestane se plně účinnou. Složení čerstvého betonu se po vyprázdnění z míchačky nesmí upravovat.

2.6.2 Technologické části betonáren

Navazování jednotlivých surovin a jejich následné promíchání může být realizováno různými způsoby a technikami. V následujícím textu se proto zaměříme na popis nejběžnějších používaných metod.

2.6.2.1 Dávkování cementu

Systémy váhového dávkování cementu jsou v podstatě dva :

- cement je pouštěn obdobně jako kamenivo uzavřeným skluzem do utěsněné váhy přímo z menšího pracovního zásobníku a odvážená dávka je pak opět uzavřeným skluzem vypouštěna do míchačky
- u druhého systému je cement k váze dopravován šnekovým dopravníkem přímo ze zásobníku

Cement je v dnešní době na betonárnách vážen převážně v samostatné cementové váze, což zvyšuje nejen přesnost dávkování, ale vede i k vyšší hygieně práce, neboť z utěsněné cementové váhy je pouze malý únik prachu. Váha bývá většinou vybavena vibračním blokem, který urychluje vypadávání cementu do míchačky.

Používá-li se k podávání cementu k váze šnekový dopravník, je výhodné používat dopravník s tzv. *progresivním šnekem*, kdy výška chodu se plynule nebo po malých sekcích zvětšuje směrem od zásobníku k váze. Při tomto zlepšení je pohyb cementu v trubce plynule zrychlován a nebezpečí ucpání šnekového dopravníku je velmi malé.

V dřívějších dobách se provádělo dávkování cementu podle celých pytlů po 50kg, které ale s vysokými požadavky na přesnost a rychlost výroby zcela vymizelo.

2.6.2.2 Dávkování kameniva

Ve většině mísíren betonových směsí převažuje požadavek váhového dávkování jednotlivých frakcí. U velkých výkonných betonáren a zejména tehdy, klademe-li velký důraz na přesnost dávkování, jsou frakce váženy jednotlivě zvláštními váhami. U betonáren s menšími výkony se často používá postupného součtového vážení frakcí, což je pochopitelně jednodušší a zmenšuje počet vah mísírny. Součtové dávkování je však celkově pomalejší, protože nelze vážit všechny frakce současně, ale musí se vážit postupně jedna za druhou.

Dříve se používaly váhy mechanické, založené na známém principu páky. Mechanické váhy jsou však dnes nahrazeny váhami tenzometrickými, jejichž princip je založen na změně vodivosti kovové tyče v závislosti na změně jejího napětí v tahu. Naproti zastaralým mechanickým vahám jsou váhy tenzometrické méně poruchové, je však nutné u nich pečlivě kontrolovat správnou funkci snímačů napětí nebo tyto snímače pro kontrolu zapojit ve dvou nezávislých okruzích.

U menších typů betonáren se kamenivo váží buď přímo v koši, který dopravuje kamenivo do míchačky, nebo přímo na pásovém dopravníku, který dopravuje kamenivo z jednotlivých frakcí do koše. V prvním případě se zpravidla používají tenzometrické váhy, na něž prázdný koš dosedá. Ve druhém případě je celý pásový dopravník pověšen na čidlech tenzometrických vah. V klidovém stavu jsou na něm naváženy jednotlivé frakce kameniva a po navážení všech frakcí je dopravník spuštěn a všechno kamenivo se vysype do připraveného prázdného koše.

Při vážení písku se využívá vlhkostní čidlo, které informuje o aktuální vlhkosti váženého písku. Na základě údaje o vlhkosti je upravováno vážené množství písku a vody. S rostoucí vlhkostí se zvyšuje vážené množství písku a snižuje vážené množství vody. V období častějších dešťů je toto vlhkostní čidlo nezbytnou nutností pro výrobu kvalitní betonové směsi. Vlhkost písku kolísá v řádech desítek procent.

2.6.2.3 Dávkování vody

Záměsovou vodu je možno dávkovat dvěma způsoby :

- přetržitě, kdy se voda nejprve plní do odměrné nádoby
- plynule, kdy se voda pouští přímo do míchačky a odměřuje se průtokovým vodoměrem

První způsob je sice poněkud složitější, ale má výhodu daleko větší přesnosti. Průtokové vodoměry někdy vykazují značné odchylky od udávaného množství a jsou tedy pro výrobu náročných betonů s vysokým požadavkem na stejnoměrnou konzistenci směsi méně vhodné. V poslední době se sice použití průtokových vodoměrů dosti rozmáhá a používá se přesných a cejchovaných vodoměrů, ale i tak je tento způsob méně přesný než objemové nebo dokonce hmotnostní dávkování vody.

Při objemovém dávkování záměsové vody se s výhodou používá hladinových elektrických kontaktů výškově seřiditelných podle odpovídajících objemů v příslušné odměrné nádobě. Tento způsob se však hodí jen pro mísírny s malou variabilitou druhů směsí v průběhu směny. Vyrábí-li se v průběhu směny větší počet druhů směsí, je vhodnější hmotnostní dávkování, založené na obdobném principu jako u kameniva, nebo v méně náročných podmínkách jednoduché dávkování průtokovým, ovšem pokud možno opravdu přesným a cejchovaným vodoměrem.

Jak bylo uvedeno výše může být jako záměsová voda použita voda z recyklace, tzv. „kalová voda“, která je hojně používána. Nešetří se tím jenom náklady za vodu, ale i výdaje za ekologické zničení recyklátu, pokud není zpracován. Recyklát v sobě totiž obsahuje zbytky cementu a přísad betonů, proto se také neustále míchá, aby nezatvrdnul. Používání recyklované vody při míchání musí být ovšem neustále sledováno laboratoří, aby nedošlo ke změnám vlastností betonů.

2.6.2.4 Dávkování přísad

Nejčastěji se provádí do samostatné váhy na přísady, obdobným způsobem jako cement nebo voda, ovšem s ještě větší náročností na přesné vážení, neboť vážené množství bývá maximálně 5 kg, ale většinou je to daleko méně. Při vysoké účinnosti přísady rozhoduje každý gram přísady o výsledných vlastnostech vyráběného betonu.

Přísady mají lepidlý charakter, proto se váhy přísad často zanáší. Z tohoto důvodu se do nich instaluje vodní proplachování, které se buď spíná automaticky dle času či množství výroby, nebo si je aktivuje obsluha betonárny dle uvážení.

Při míchacím procesu dochází k určitým otřesům a vibracím na míchací konstrukci, z tohoto důvodu bývají váhy přísad uchyceny na silent blocích, které otřesy tlumí. Pro představu o nárocích na váhy přísad uvádím příklad, kdy jsme pro jednoho z našich zákazníků vyráběli velmi přesnou váhu, která nejenže byla umístěna v uzavřené krabici na silent blocích, ale navíc k měřicímu tenzometru byla uchycena pomocí pružin, které ještě více tlumily vibrace míchacího jádra.

Druhým způsobem, méně používaným ale levnějším, je vážení přísad přímo do váhy vody. Toto vážení není samozřejmě tak přesné, ale odpadá problém se zalepením vah a finanční náklad na pořízení další váhy.

2.6.2.5 Míchačka

Mícháním betonové směsi se má dosáhnout rovnoměrného rozložení všech složek směsi ve hmotě a zejména dokonalého promíchání cementu a vody, což je důležité pro pravidelný průběh hydratace cementu. Dále je nutné, aby všechna zrniva kameniva byla na celém svém povrchu dokonale obalena cementovou kaší (maltou). Míchaček různých typů, ve kterých se betonová směs míchá, je na světovém trhu velmi široký výběr, takže zde uvedu jen základní funkční principy nejčastěji používaných míchaček.

Nejznámější druhy míchaček lze členit :

- **podle funkce** - zda složky betonové směsi jsou míchány pouze přesypáním založeném na principu volného pádu nebo zda jsou míchány pohrabováním různě utvářenými rameny apod.

- ***podle konstrukčního řešení*** - se dělí na míchačky s pevnou osou a míchačky se sklopnou osou

Míchačky pracující na principu přesypání směsi unášené pevnými lopatkami. Vnitřní strana míchačky je vyložena litinovými kachlicemi, které jsou odolné proti opotřebenosti i při poměrně hrubozrnném kamenivu. Při opotřebenosti se provede výměna kachlic a zvyšuje se tak životnost míchačky. Míchačky s nuceným promícháváním mají velké přednosti a proto se používají jak u stabilních oblastních betonáren, tak i u mobilních jednotek, přičemž hlavní předností je, že jejich výkony vzhledem k objemu bubnu jsou mnohem vyšší než u míchaček s přepadovým mícháním a že tím lze dosáhnout stejných výkonů s daleko menšími míchačkami.

2.6.2.6 Postup míchání

Starší názory technologů prosazovaly, že nejprve má být pokud možno dokonale promícháno kamenivo s cementem a pak teprve lze přidávat záměsovou vodu. To bylo zdůrazněno tím, že tak lze účinně zabránit tvoření hrudek cementu, jejichž rozmělnění kamenivem při míchání prodlužuje cyklus míchání směsi. Tento názor se opíral hlavně o poznatky s ručním mícháním a do jisté míry i o poznatky s míchačkami starších typů, pracujících výlučně na principu přesypávání směsi.

Nové konstrukce míchaček s nuceným mícháním tento názor zvrátily. Ukazuje se, že je nejvhodnější nejprve promíchat cement s vodou a nejvýše ještě s drobným kamenivem rychle rotujícími mísidly, potom přidat zbytek kameniva a při zmenšeném počtu otáček směs promíchat účinkem mísících ramen a lopatek. Tímto postupem se dosáhne opravdu dokonalé promíchání cementu s ostatními složkami a navíc jsou zrna kameniva dokonale obalena pojivem v kratším výrobním cyklu.

Pokud jde o tvoření cementových hrudek, zabránění tvorbě hrudek účinněji rychlé míchání při vysokém počtu otáček mísidel, než tomu je například při styku cementu bez vody s vlhkým kamenivem, hlavně je-li používáno kamenivo upravované za mokra. Další předností tohoto nového způsobu míchání je i to, že cementová malta takto připravená je do jisté míry aktivována, a tedy odolnější proti rozmíchání, a tuto vlastnost vykazuje i takto vyrobený beton, který je i odolnější proti rozplavení ve styku s vodou.

Zvýšení výkonu betonárny lze dosáhnout i úpravou časového sledu jednotlivých dílčích operací, a to přesahováním potřebných výrobních časů jak v rámci jednoho výrobního cyklu, tak i mezi jednotlivými výrobními cykly. Například plnění vah a vlastní vážení složek může probíhat současně s mícháním předchozí dávky v míchačce, čímž se podstatně zvýší využití vah a tím i výkon celého zařízení, který je pak dán prakticky pouze časem potřebným k naplnění míchačky, promícháním a vyprázdněním směsi do odběrného zásobníku.

3. Přehled řídicích systémů betonáren

V České republice jsou čtyři zavedené společnosti, které nabízejí řídicí systémy pro betonárny. Jiné firmy se ve větší míře u zákazníků neprosazují a mají řízení jen na několika betonárnách, příkladem je diplomová práce Ing. Pavla Deutsche z roku 2003 [8], který spolu s firmou RAMOS, vytvořil řízení pro dvě betonárny, přičemž jedno z nich je do dnešního funkční a druhé již bylo vyměněno. V následujících podkapitolách bude stručně popsáno řízení jiných firem.

3.1 Řídicí systém firmy MARTEK ELEKTRONIK, s.r.o.

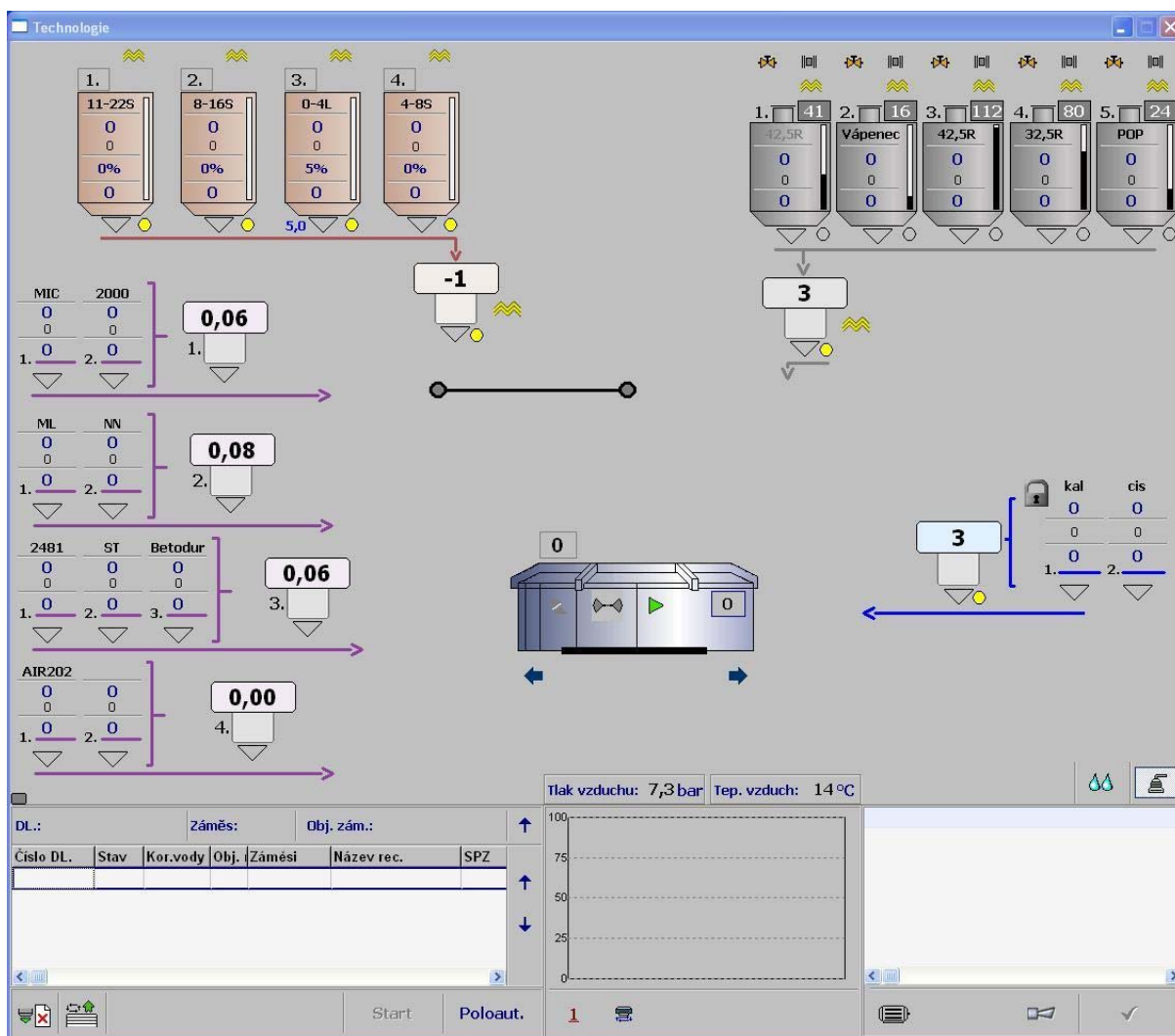
Počítačový řídicí systém ME-30 [4] je určen pro ovládání mísících center pro výrobu transportbetonu. Sestává ze tří řídicích počítačových systémů, které navzájem spolupracují a předávají si data, pultu nouzového ručního řízení a silového rozvaděče.

Pro přímé automatické řízení technologie je určen programovatelný automat. Pro vizualizaci automatického chodu technologického procesu a jeho ovládání je určen program Technologie. Pro zpracování zakázek, zadávání a plánování práce a vyhodnocování dat je určen program Dispečer. Všechny údaje jsou v něm zaznamenávány do databází. Tyto databáze využívá i program Technologie. Systém ME-30 může pracovat v několika počítačových konfiguracích. Je možné například zapojení obchodnického či dalšího počítače na externím pracovišti.

Řídicí systém ME-30 se vyskytuje ve dvou základních verzích rozlišených příponami. ME-30 NT, starší z verzí, je databázově orientovaná souborově a používá starší automat ABB. Mladší ME-30 C/S je plně client/serverová aplikace postavená na SQL serveru Interbase.

S tímto systémem jsem se osobně na betonárnách setkal. U tohoto systému se nejedná o distribuovaný způsob řízení, což je jeho hlavní nevýhodou. I na rozsáhlé betonárně jsou veškeré vstupy a výstupy přivedeny do jednoho místa, většinou na velín do hlavního rozvaděče. Z tohoto důvodu je potom roztahováno velké množství kabelů a přidání jakéhokoliv nového zařízení, provází roztahování nového kabelu. Systém umožňuje provádět

kontrolu a dálkovou úpravu pomocí internetového nebo telefonického připojení. Na obrázku 3.1 je zachycena hlavní obrazovka z uživatelského rozhraní.

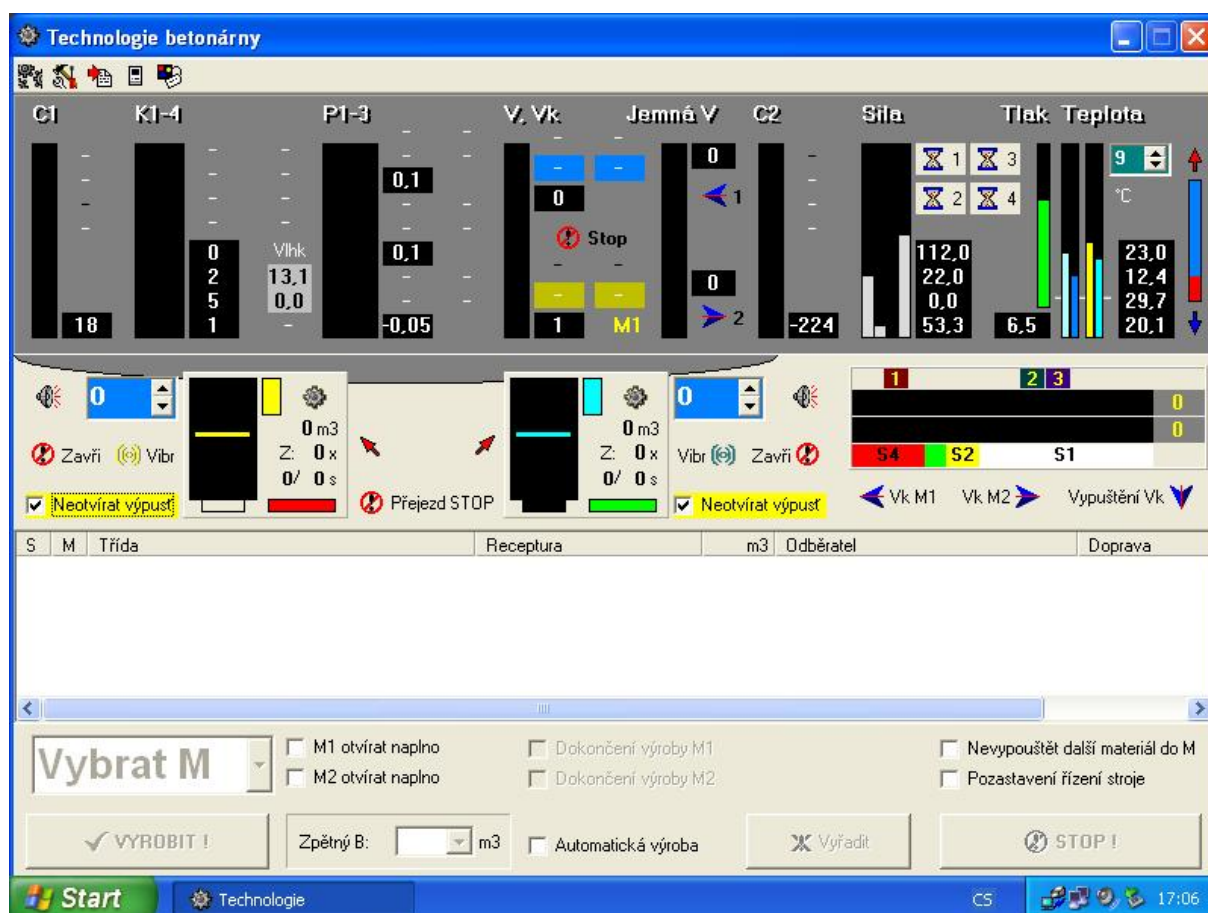


Obr. 3.1 Náhled na řídicí program firmy MARTEK ELEKTRONIK, s.r.o.

3.2 Řídicí systém firmy CSE spol. s r.o.

Na webových stránkách [5] bohužel nejsou bližší informace k řídicímu systému, ovšem s tímto systémem jsem se také setkal. Systém nevyužívá žádného programovatelného automatu k získávání informací z čidel a vah a k ovládání jednotlivých motorů a výstupů, ale využívá v/v karet vlastní výroby. Každé zařízení má svoji kartu, což vede k velkému množství potřebných karet. Tyto karty jsou rozmístěny zpravidla do dvou míst na betonárně, které

výrobce nazývá můstky. S řídicím počítačem komunikují můstky pomocí protokolu CAN. Tento náznak distribuovaného řešení ovšem není dotažen do konce – celá silová část je umístěna v hlavním rozvaděči na „velíně“, stejně jako u firmy MARTEK. V tomto rozvaděči ovšem není umístěn žádný „můstek“. Pokud chtějí například navázat přísadu 1, tak po komunikačním protokolu aktivují výstup na kartě přísady 1, která je umístěna někde daleko na míchačce a po kabelu potom tento signál přivedou zpět na velín až do hlavního rozvaděče, kde se provede aktivace stykače. Přes distribuovaný způsob řízení to nevede k žádným úsporám na roztažení kabelů. Verze systému, které jsem měl možnost vidět, nebyly vybaveny dálkovou kontrolou. Na obrázku 3.2 je zachycena hlavní obrazovka z uživatelského rozhraní.



Obr. 3.2 Náhled na řídicí program firmy CSE spol. s r.o.

3.3 Řídicí systém firmy ASTERIX a.s.

Řídicí systém ATX COMPACT [6] je speciálně koncipován pro mísící centra menších výrobních jednotek. Výhodou je maximálně kompaktní provedení, kdy jsou veškeré komponenty tj. elektrické ovládací a silové obvody a elektronika osazeny v jediném kompaktním rozvaděči, který svými rozměry $1800 \times 800 \times 400$ mm (v × š × h) neomezuje prostor menšího velínu i v klasickém uspořádání na vlastním stroji. ATX COMPACT je dodáván podle vybavení rozvaděče v několika provedeních. Základní provedení je osazeno komponenty pro navažování kameniva a cementu s možným zachováním průtokoměru vody bez dávkování přísad a obsahuje silové obvody a elektroniku ASTERIX včetně dvou displejů vah. Střední provedení disponuje navíc ovládáním a displejem váhy vody, plné provedení pak řízením i zobrazením navažování pro dvě nezávislé váhy přísad.

Řídicí systém ATX COMPACT řídí komplexně celý proces výroby betonové směsi pomocí počítače IBM PC kompatibilního a zobrazuje na monitoru v reálném čase právě probíhající děj v technologii betonárny. Umožňuje tak plně automatický provoz na úrovni personálního počítače jako přímé automatické řízení klasické betonárny. Dalším druhem provozu je manuální ovládání betonárny pomocí ovládacího panelu na rozvaděči bez použití PC se zachováním veškerých technologických blokad.

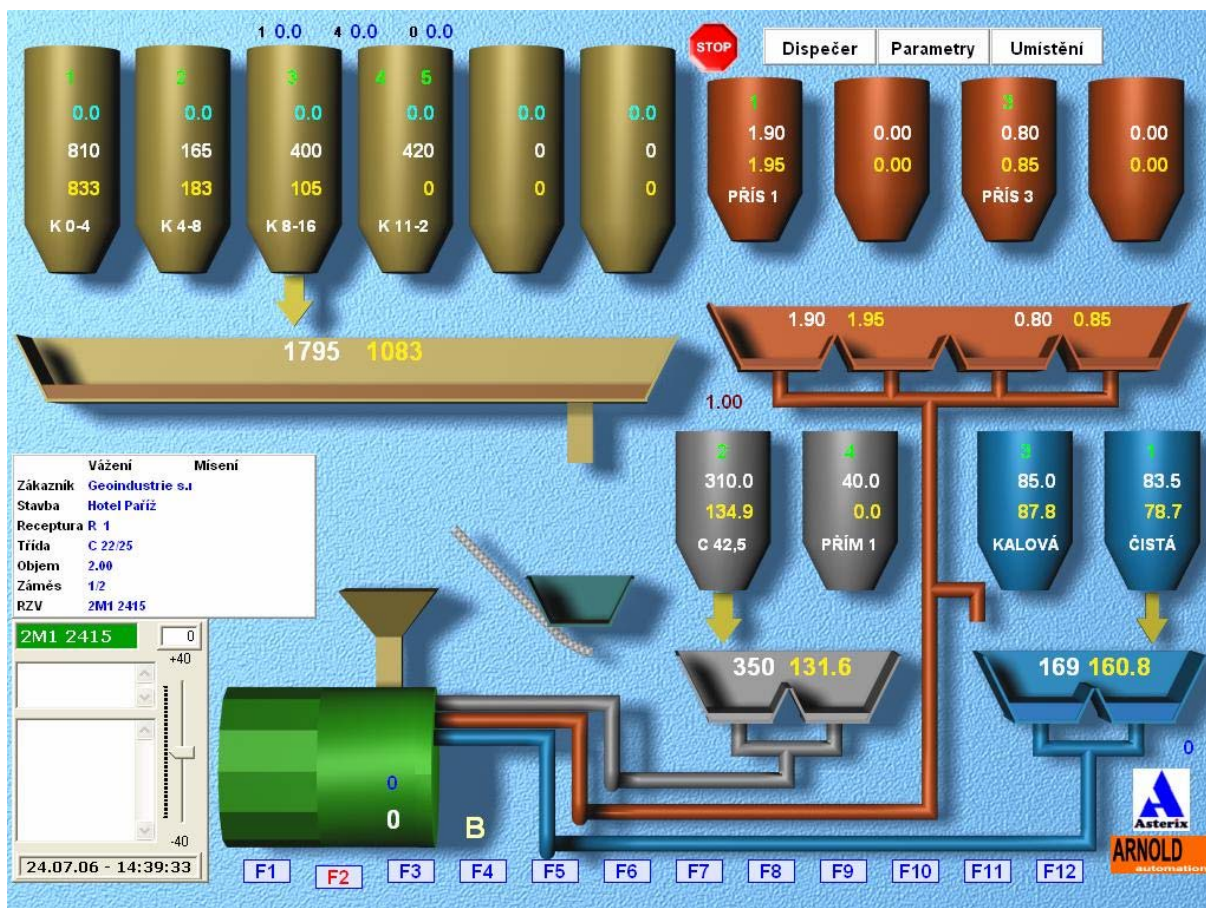
ATX COMPACT umožňuje připojení libovolného počítače IBM PC kompatibilního se sériovou linkou podle přání zákazníka, a svým provedením, použitou kvalitní technikou a vysokou spolehlivostí, vyhovuje i těm nejpřísnějším kritériím. Přesto výsledná cena zůstává pro provozovatele betonáren stále příznivá.

Řídicí program je provozovaný pod operačním systémem Windows XP a je plně kompatibilní s průmyslovým standardem IBM PC. Program je koncipován flexibilně, takže umožňuje budoucí rozšiřování ovládacích i řídicích funkcí a je schopen komunikace s jinými systémy prostřednictvím standardizovaných prostředků.

Řídicí program též umožňuje přechod jednotlivých uzlů na manuální ovládání. Systém je tvořen řídicím pracovištěm, které je přímo napojeno na ovládací soustavu betonárny a řídí tak kompletní proces výroby betonu. Součástí tohoto celku je dispečerské pracoviště ATX - D300 pro příjem objednávek, evidenci a tisk dodacích listů, které pracuje současně s řídicím systémem betonárny. Elektronická jednotka zajišťuje styk řídicího počítače s technologií,

zpracovává stavové informace a analogové údaje, které posílá obousměrně po sériové lince formou zpráv do řídicího počítače.

Na obrázku 3.3 je zachycena hlavní obrazovka z uživatelského rozhraní.



Obr. 3.3 Náhled na řídicí program firmy ASTERIX a.s.

3.4 Řídicí systém firmy Probet s.r.o.

Řídicí program této firmy nese název BET-kontrol [7]. Již v základním provedení je řídicí systém vybaven k připojení vyššího řízení typu SCADA-HMI. Dodatečné doplnění vyššího řízení se provádí bez zasahování do zapojení či softwaru řídicího systému. Doplněním SCADA-HMI se řídicí systém rozšíří na řídicí systém BETkontrol operátor.

Základem řídicího systému je programovatelný automat Tecomat TC600. Programovatelný automat slouží pro přímé řízení a běží v něm všechny řídicí algoritmy. Jedině programovatelný automat má přímý přístup k jednotlivým automatizačním

prostředků. Sběr binárních dat je řešen pomocí binárních vstupů programovatelného automatu. Sběr analogových hodnot probíhá decentralizovaně pomocí inteligentních převodníků a sériových linek. Výstupy jsou zapojeny na pomocné relé, které ovládají přímo akční členy nebo stykače akčních členů.

Na obrázku 3.4 je zachycena hlavní obrazovka z uživatelského rozhraní.



Obr. 3.4 Náhled na řídicí program firmy PROBAT s.r.o

4. Výběr způsobu řešení

4.1 Požadavky na řídicí systém

Základním požadavkem při hledání vhodného a univerzálního řešení pro řízení betonáren je požadavek na distribuované řízení. Pokud se jedná o velmi malou betonárnu, tento požadavek samozřejmě není tak závažný a všechno může být připojeno do jednoho centrálního rozvaděče s jedním řídicím procesorem a k němu přidaných vstupně výstupních obvodů. Ovšem už při troše rozlehlejší struktuře betonárny je distribuované řízení nezbytností. Po celé betonárně potom stačí roztáhnout dva kabely – jeden řídicí a druhý silový a vytvořit sérii rozvaděčů, z kterých budou ovládány jednotlivé motory, klapky či ventily nebo jsou v nich sbírány data z jednotlivých procesních čidel a vah, dle rozložení betonárny.

Dále musí být systém velmi jednoduše rozšiřitelný, neboť počet zařízení na betonárnách se značně liší. Malá betonárna si vystačí s jedním cementovým silem, na velkých betonárnách je jich až šest, stejně potom může být až 10 druhů přísad. Při rozšiřitelnosti systému je nutné samozřejmě brát v potaz rychlost zajištění nových vstupně/výstupních karet, ať už pro rozšíření nebo výměnu.

Co se týče ovládání vzniká otázka, jestli jej zdvojit nebo ne. Jestli tedy budeme výrobní proces ovládat pouze z počítače a operátorské aplikace nebo instalovat také operátorský přepínačový pult a zdvojit tak řízení. Kromě firmy ASTERIX a.s. již ostatní firmy od operátorského pultu upustily a ani já v něm nevidím žádnou výraznou výhodu. Z uživatelské aplikace se stejně dá všechno ovládat a možnost, že obsluha na pultu něco náhodně stiskne je vysoká, a může dojít k výrobě špatného betonu. Jedinou výhodou je, že pokud by došlo ke spadnutí počítače nebo systému, je možné betonárnu ovládat ručně. Tento jev ale samozřejmě nastává sporadicky a míchání je možné, pouze pokud jsou jednotlivé váhy zobrazovány externě a nejsou tedy zpracovávány přímo systémem.

Navrhovaný systém musí být schopen komunikovat s databázovým systémem, ať už je to z důvodů ukládání jednotlivých vyrobených betonů pro pozdější zpětnou kontrolu či reklamaci, nebo pro ukládání informací o celkovém spotřebovaném množství jednotlivých výrobních surovin. Díky těmto informacím může betonárna provádět efektivní objednávání

surovin tak, aby jí ani na skladě neleželo přebytečné množství jednotlivých výrobních surovin nebo naopak nedošlo k nedostatku nějaké suroviny.

Nezbytností je taktéž možnost dálkové kontroly a případných úprav systémů, bez nutnosti přítomnosti u daného zákazníka. Vede to samozřejmě v první řadě na úsporu nákladů a to nejenom vlastních, pokud je systém v záruční době, ale následně i nákladů zákazníka v pozáruční době. Při opravě potom není problémem zjistit, proč systém nepracuje správně a na základě zjištěné závady se teprve rozhodne, jestli je návštěva u zákazníka nutná, nebo si je při opravě schopen poradit sám.

Aby systém mohl vyrábět, musí vědět co má vyrábět. Proto je potřeba naprogramovat systémovou součást, která ponese informaci o jednotlivých recepturách. K úpravě receptury můžou mít přístup pouze pověřené osoby. Ty jsou oprávněny vytvořit novou recepturu, popřípadě starou smazat, a nebo změnit parametry receptury. Menší betonárna vystačí s 30 recepturami, větší jich už potřebuje 200 a opravdu velké betonářské společnosti mají v databázi až 600 receptur, přičemž každá může mít až pět různých niancí. K takovému množství je ale samozřejmostí, že společnost má vlastní laboratorní středisko, které každý vyrobený beton podrobí zkouškám a provádí neustálou korekci receptur.

Co se týče operátorské aplikace je samozřejmostí jednoduché a intuitivní ovládání. Všechno, co se při výrobním procesu děje, musí být dostatečně přehledné a operátor nesmí být zatížen přílišným množstvím informací, které zrovna ani nepotřebuje, ale ví, kde je v případě nutnosti vyhledat. Ve své práci jsem si stanovil za cíl, aby operátorská aplikace kopírovala skutečné rozložení jednotlivých částí na betonárně, což povede k lepší kontrole, co se v kterém místě právě děje, který motor je aktivní nebo která klapka je otevřena apod.

Neopomenutelným hlediskem je samozřejmě celková finanční zátěž objednatele, která by samozřejmě měla být co nejnižší. Pokud poskytneme stejné služby jako konkurence, ale ceny budou nižší, je velká šance, že objednatel dá zakázku do našich.

4.2 Výběr řídicích jednotek

Po zvážení výše uvedených skutečností jsem se rozhodl pro realizaci řízení betonárny za pomoci programovatelného automatu, od firmy Siemens, s.r.o., Simatic CPU315. Firma Siemens s dlouholetou tradicí je nejsilnějším hráčem na světovém trhu s automatizační

technikou, což samozřejmě hrálo určitou roli v mém výběru. S vysokou podporou ze strany výrobce je zajištěno okamžité řešení jakýchkoliv problémů v nejkratším možném čase. Jasným důkazem tohoto tvrzení je nepřetržitá provozní doba střediska náhradních dílů výrobce v jeho sídle. Když si tedy objednáím jakýkoliv díl, můžu ho mít s příplatkem za expediční službu do druhého dne, čímž mohu nabídnout svému zákazníkovi okamžité řešení vzniklého problému. Uvažoval jsem o variantě s CPU od firmy Siemens a vstupně/výstupními obvody od jiného výrobce, např. IDEC nebo WAGO, jejich nepatrně nižší cena ovšem nemohla vyvážit ztrátu pohodlné diagnostiky chyb obsažené v balíku softwaru Simatic.

4.3 Profinet nebo Profibus

V tu chvíli, když jsem se rozhodl pro využití PLC Simatic vyvstala další otázka, zda použít pro komunikaci mezi jednotlivým periferiemi zavedený, spousty let prověřený, levnější ale také pomalejší komunikační protokol Profibus, nebo zvolím síť budoucnosti Profinet.

4.3.1 Profibus

Jak už jsem uvedl, jde o zaběhnutý komunikační protokol v průmyslové automatizaci. Většina výrobců různých čidel nabízí možnost připojit jejich zařízení pomocí sítě Profibus [9] do automatizačního procesu. Z toho důvodu je Profibus předurčen k dlouhé životnosti. Nabízí se ve třech základních variantách:

- **Profibus DP**
 - rychlá cyklická výměna
 - komunikace mezi PLC/IPC a distribuovanými v/v zařízeními
 - fyzická vrstva – RS485, optika
- **Profibus FMS**
 - komunikace mezi PLC, mezi PLC a PC
 - dnes se moc neužívá
 - fyzická vrstva – RS485, optika
- **Profibus PA**
 - rychlá cyklická výměna dat, napájení po sběrnici
 - připojení procesních přístrojů
 - fyzická vrstva – IEC 1158 – 2

Vlastnosti metalické sítě:

- RS485 – stíněná kroucená dvoulinka
- přenosová rychlost 9,6 kbps – 12 Mbps
- zakončení na obou stranách
- repeater – vzdálenost, více segmentů, rozbočení
- max. 9 repeaterů za sebou
- topologie sítě – linie, strom

Přenosová rychlost (kbps)	9,6 – 187,5	500	1500	12000
Max. délka segmentu (m)	1000	400	200	100

Tab. 4.1 Přenosové rychlosti sítě Profibus v závislosti na vzdálenosti segmentů

4.3.2 Profinet

Jedná se o otevřený standard průmyslového Ethernetu pro automatizaci, využívá TCP/IP a IT-standardy. Profinet [10] je Ethernet pro reálný čas a umožňuje bezproblémovou integraci polních sběrníkových systémů a známých profilů. Také Profinet je nabízen ve třech variantách:

- Profinet IO – Real-time (RT)

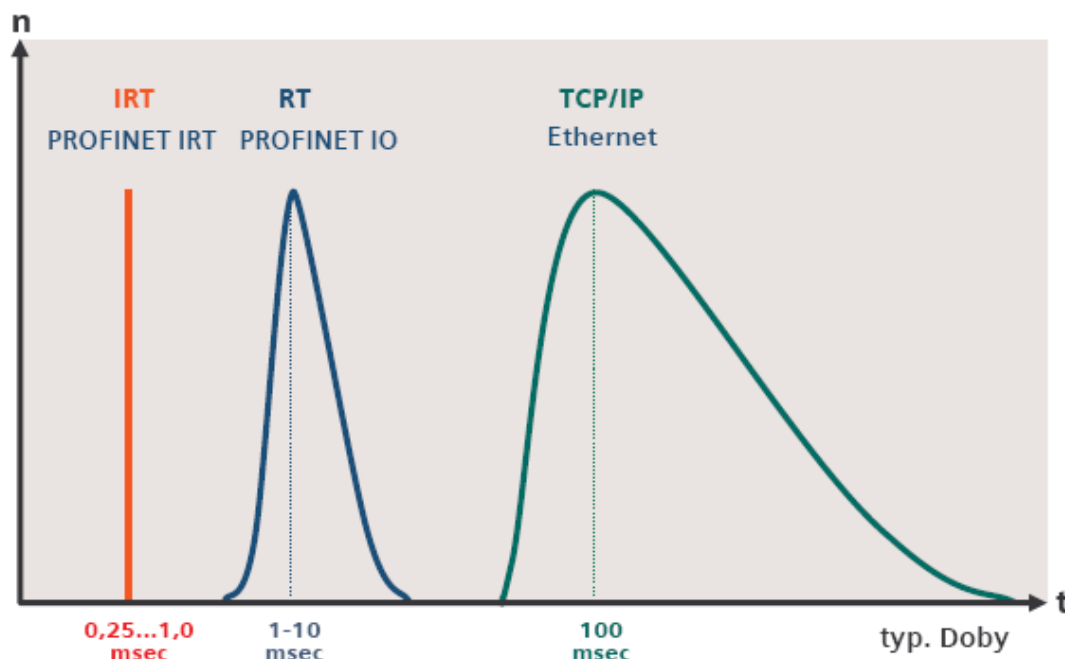
- rychlá cyklická výměna dat, obdoba Profibusu DP
- komunikace mezi PLC/IPC a distribuovanými v/v zařízeními
- fyzická vrstva – Průmyslový Ethernet (standardní komponenty)

- Profinet IRT – Izochronní real-time

- minimální doba cyklu (250 μ s) s min. rozptylem (1 μ s)
- typická oblast použití: Náročné řízení polohy a pohybu
- fyzická vrstva – Průmyslový Ethernet (speciální komponenty)

- Profinet CBA (Component Based Automation)

- výměna dat mezi technologickým moduly (i RT)
- fyzická vrstva – Průmyslový Ethernet (standardní komponenty)



Obr. 4.1 Doba cyklu u variant sítě Profinet a její rozptyl

Vlastnosti metalické sítě:

- Ethernet – 100 Base-TX, 100 Base-FX
- přenosová rychlost 100 Mbps, Full Duplex
- technologie přepínání – switche
- topologie – hvězda, linie, strom
- flexibilita
- maximální délka segmentu 100m
- maximální rozlehlost sítě 5km

4.3.3 Vlastní výběr sítě

Pro použití sítě Profibus hovoří vysoká podpora různých výrobců nabízejících svoje zařízení s možností připojení k této síti a tím i snížení nákladů za dané zařízení volbou levnější varianty zařízení. Dále je na straně Profibusu celkový o něco nižší náklad než na stejnou konfiguraci sítě Profinet. Pokud ale jde o přenosovou rychlost, nemůže se Profibus s Profinetem vůbec rovnat. Z důvodů této vysoké přenosové rychlosti a přínosu něčeho

nového do řízení betonáren jsem se ve své práci rozhodl využít komunikačního protokolu sítě Profinet.

4.4 Vstupně/výstupní periferie

Nezbytností a samozřejmostí při tvorbě řídicího programu je reakce na děje a získaná odezva systému o stavech, ve kterých se systém nachází. Simatic nabízí různé varianty vstupně/výstupních obvodů určených pro různé aplikace, od standardních až po požadavky na práci ve výbušném prostředí. Já jsem vybral ze široké škály nabízených možností standardní řad Simatic ET200S [11]. Jednotlivé použité vstupně/výstupní jednotky budou popsány v další kapitole, zde uvádím pouze základní informace ke zvolené řadě:

- Profibus DP V0,V1, izochronní
- Profinet IO, IRT
- integrovaný 2-portový switch
- metalické i optické porty
- možnost integrovat CPU
- bezpečnostní technologie (SIL3, Cat4)

Každý z vytvořených uzlů pro vstupy a výstupy je tvořen tzv. Interface modulem (IM), který zajišťuje komunikaci se sběrnici a Power modulem (PM), který tvoří nezávislé napájení skupin. Jelikož jsem zvolil komunikaci po síti Profinet použil jsem Interface modul IM151-3, který má následující vlastnosti:

- délka stanice až 2 m
- maximální počet modulů IM+63
- vstupy/výstupy – 256B

4.5 Vizualizace

Jako vizualizační nástroj pro průmyslovou automatizaci nabízí firma Siemens, s.r.o. software WinCC. Tento program je nabízen ve dvou verzích. Nižší je nazvána WinCC Flexible a je určena hlavně pro dotykové terminály HMI (Human Machine Interface), ovšem je s ní možné programovat i jedno operátorské PC. Nebo plná verze WinCC 6.0, ve které byla

vizualizace naprogramována. Dnes je nabízena již verze 6.2. Jelikož je WinCC Flexible výrazně levnější než plná verze, samozřejmě s tím souvisí i levnější RunTime licence pro koncového uživatele. Pokoušel jsem se o vytvoření vizualizace v této verzi softwaru. Po týdnu jsem však od této varianty upustil. Pro inteligentní ovládání na počítači je to poměrně slabý nástroj – co stačí u dotykového panelu, tak pro pohodlné ovládání z počítače nestačí. Mezi mnou zjištěné hlavní nevýhody patří:

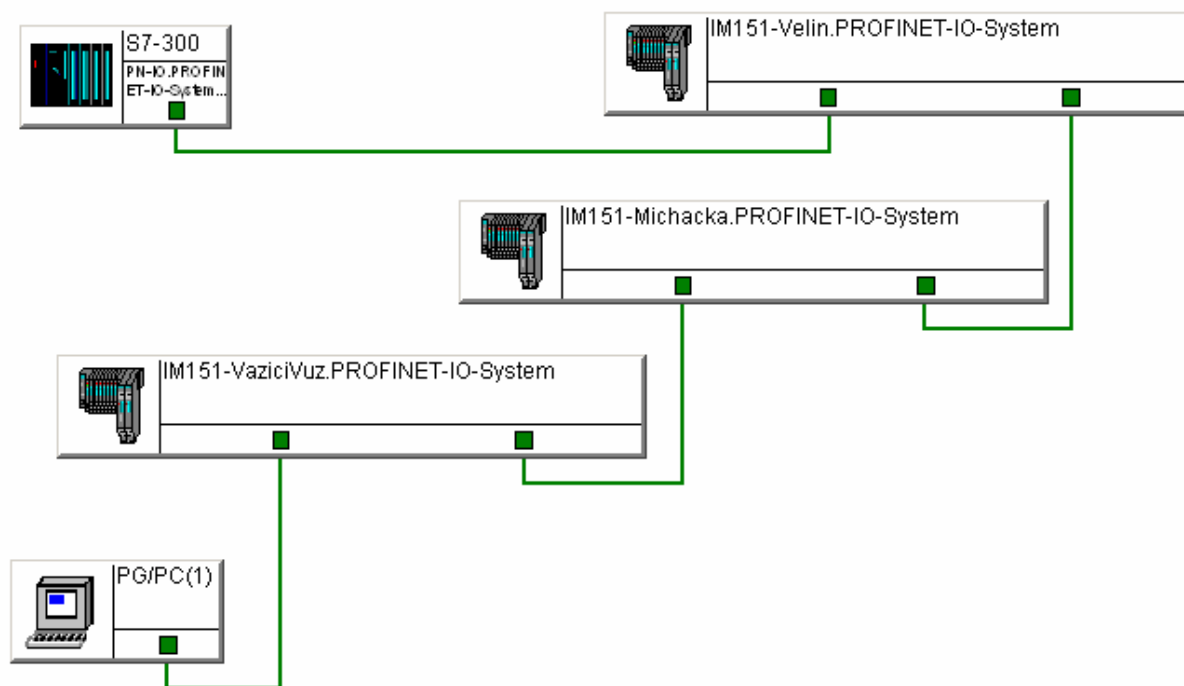
- **nelze otevírat jednotlivé zmenšené okna** – pokud bych chtěl například něco potvrdit, tak musím mít tuto potvrzovací hlášku přímo ukrytu v hlavním okně a ukázat ji až při vzniku potvrzovacího hlášení. Pokud tedy otevřu jiné okno, tak se otevře vždy přes celou obrazovku a překryje vše. To vede k vysoké nepřehlednosti při programování složitějších aplikací.
- **nelze vytvářet strukturované tagy** – znamená to, že není možné vytvořit určitou strukturu, například při ovládání motoru. Všechny motory se chovají z hlediska ovládání stejně – něčím je aktivuji, něčím deaktivuji a někde signalizuji, zda je motor aktivní. Pokud tedy ovládám například 6 motorů nemusím pro každý motor vytvářet podobné řízení, ale vytvořím ho pouze jednou a jednotlivé motory volám dle parametru (např. název).
- **nelze vytvářet události při kliknutí na obrázek** – program umí měnit barvu, například obrázku motoru podle toho, zda je motor aktivní nebo ne. Dále motor může být vidět nebo skrytý. Ovšem nelze vytvořit žádnou událost při kliknutí na tento motor, čehož ale v plné verzi hojně využívám – když kliknu na motor, tak se mi zobrazí okno s jeho ovládáním.
- **nelze použít C skript** – v případě, že nestačí na vytvoření události předdefinované pomocné funkce, je možno v plné verzi využít standardního C jazyka, čímž se stává WinCC silným vizualizačním softwarem nejenom při použití ve spojení s programovatelným automaty Siemens.

Z výše uvedených důvodů jsem se rozhodl využít plné verze programu WinCC, aby dostál požadavku na jednoduché a intuitivní ovládání aplikace.

5. Popis akčních členů modelu

5.1 Rozdělení řídicích uzlů

Celý model betonárny se sice vejde na jeden stůl, ale jelikož se jedná o distribuovaný způsob řízení, byly vytvořeny tři rozvaděče simulující technologické místa na betonárně. Mezi sebou tyto rozvaděče komunikují pomocí výše uvedeného protokolu Profinet. Byl vytvořen hlavní rozvaděč na pomyslném velině, který je napájen síťovým napětím 230V a obsahuje napěťové zdroje 12 VDC resp. 24 VDC. Toto řídicí napětí je přivedeno i do ostatních rozvaděčů. Dále byly vyrobeny rozvaděče pro míchačku a pro vázicí vůz. Propojení jednotlivých rozvaděčů síťovým kabelem je patrné z obrázku 5.1.



Obr. 5.1 Použitá topologie sítě Profinet

5.2 Popis jednotlivých uzlů

5.2.1 Velín

Jak už bylo výše popsáno, bývá zvykem, že na velíně je hlavní rozvaděč a jištění betonárny, proto rozvaděč na velíně obsahuje hlavní pojistku, pojistku pro kompresor, pro obvod 12 VDC a také 24 VDC. Foto rozvaděče je v příloze na obrázku A1. Na velíně jsou použity 2 vstupní karty po 8-mi vstupech a 2 výstupní karty po 8-mi výstupech.

Seznam použitých digitálních vstupů na velíně:

- centrální zastavení
- porucha napětí 12 VDC
- blokace technologie

Seznam použitých digitálních výstupů na velíně:

- houkačka
- motor šneku cementového sila 1
- motor šneku cementového sila 2
- motor kompresoru

Cementová sila jsou zachyceny na obrázku A2. K dopravě cementu ze šneků do sil jsou použity šnekové dopravníky, poháněné motorky F-WIN37GB-528 (napájecí napětí 12 V, proud 0,030 A, 15 ot/min). Stejně motorky jsou použity i k otáčení pasů a míchačky. Na skutečné betonárně by se navíc ovládalo tzv. provzdušnění sila, kdy se při vypouštění cementu do šneku přivede přes trysky do spodu sila zredukovaný stlačený vzduch, který cement čeří, a ten potom lépe padá do šneku.

Kompresor pro dodávku stlačeného vzduchu pro model je na obrázku A3. Použil jsem kompresor Orlik AS189 (napájecí napětí 230 V, zásoba vzduchu 3 litry, maximální dosažitelný tlak je 6 barů, pokud ale kompresor běží trvale). Jelikož pro správnou funkci modelu je zapotřebí tlaku vyššího než 4 bary, ale je zbytečné aby kompresor běžel neustále, je spínán na základě hodnoty ze snímače tlaku, který je umístěn ve vázícím voze, neboť zde nás

hodnota tlaku nejvíce zajímá. Spínané rozmezí je možno nastavit v řídicím programu (bude popsáno dále). Pro vyšší kvalitu stlačeného vzduchu je do pneumatického okruhu připojen odkalovač kondenzátu a olejové přimazávání pneumatických válců, které prodlužuje životnost válců.

5.2.2 Míchačka

Do tohoto rozvaděče, který bývá umístěný v blízkosti míchačky, jsou přivedeny všechny zařízení spojené s míchačkou. Foto rozvaděče je na obrázku A4. Na míchačce jsou použity 2 vstupní karty po 8-mi vstupech, 2 výstupní karty po 8-mi výstupech, 1 analogová karta se 2-mi proudovými signály 4-20 mA a 3 karty Siwarex CF pro snímání tenzometrického signálu.

Seznam použitých digitálních vstupů na míchačce:

- zapnutí ručního ovládání
- ruční ovládání – otevřít míchačku
- ruční ovládání – zavřít míchačku
- ruční ovládání – otevřít váhu vody
- ruční ovládání – zavřít váhu vody
- kontrola otáčení míchačky
- víko míchačky zavřeno
- výpusť míchačky zavřena
- výpusť míchačky otevřena
- výpusť míchačky na polovinu
- váha vody zavřena
- váha přísad zavřena
- váha cementu zavřena
- jemný dovažek vody zavřen
- víko vpusti kameniva otevřeno

Seznam použitých digitálních výstupů na míchačce:

- vypustit váhu vody

- vypustit váhu přísad
- vypustit váhu cementu
- výpust' míchačky otevřít
- výpust' míchačky zavřít
- motor míchačky
- motor čerpadla technologické vody
- motor čerpadla kalové vody
- motor čerpadla přísady 1
- motor čerpadla přísady 2
- motor čerpadla dovažku vody
- motor čerpadla proplachu přísad
- otevřít víko vpusti kameniva

Seznam použitých analogových vstupů na míchačce:

- proudové zatížení motoru míchačky

Seznam použitých tenzometrických vstupů na míchačce:

- hmotnost váhy vody
- hmotnost váhy přísad
- hmotnost váhy cementu

Na modelu míchačky je podobně jako na betonárnách použit ruční ovládací panel, který slouží obsluze při mytí míchačky. Ruční panel je zobrazen na obrázku A5. Obsahuje přepínač pro aktivaci ručního režimu a blokaci řídicího programu. Pokud je tento přepínač aktivován, je možné ovládat pouze otáčení míchačky, otevření a zavření výpusti míchačky, otevření váhy vody a současné vpuštění vody do míchačky a nebo zavření váhy vody. Tento blokační přepínač bývá zpravidla s klíčkem a obsluha, která provádí údržbu míchačky, po jeho sepnutí klíč z tlačítka vyjme, aby bylo zaručeno, že nikdo nesepe otáčení míchačky, a tím ohrozí obsluhu.

Na míchačkách bývají umístěny čistící otvory, které jsou sledovány čidly, zda jsou skutečně zavřené. Pouze při ručním režimu míchačky není signál z toho čidla brán v potaz. Při běžném provozu musí čidlo vykazovat, že kryt je zavřen, jinak není možné roztočit

míchačku nebo ji za provozu okamžitě zastavit. Dalším bezpečnostním článkem na míchačce je čidlo otáček míchačky. Pokud nepřichází při otáčení pravidelný signál z tohoto čidla, je míchačka ihned zastavena. Toto čidlo je možné vidět na obrázku A7.

Při vyhodnocení konzistence betonu se používá přímé nebo nepřímé metody. Přímá metoda vyžaduje čidlo instalované v míchačce, ať už dotykové nebo bezdotykové. Tyto čidla jsou ovšem finančně velmi náročná, cena takového čidla je přibližně 200 000 Kč, proto nejsou zcela běžnou součástí betonáren. Mnohem častěji se používá bezdotykové snímání v závislosti na odebíraném proudu míchačkou – čím větší je hustota míseného materiálu, tím větší klade materiál lopatkám odpor a tím více proudu je motorem odebíráno. Nevýhodou této metody je, že není samozřejmě tak přesná jako přímá, vyžaduje kalibraci přímo na betonárnách na základě výstupu ze zkoušek konzistence a v neposlední řadě závisí na zkušenostech obsluhy betonárny. Já jsem tuto levnější metodu rovněž využil v modelu a snímám odebíraný proud motoru pomocí analogové vstupní karty o velikosti vstupního signálu v rozmezí 4-20 mA.

Pro realizaci výpusti míchačky byl použit pneumatický válec s velikostí zdvihu 80 mm. Tento válec je ovládán dvočinným ventilem, aby jej bylo možné zastavit v jakékoliv pozici, a ne pouze v úvratích. Veškeré pneumatické ventily byly zakoupeny od předního světového výrobce v oblasti pneumatiky firmy Festo, s.r.o.. Miniaturní pneumatické válce potom od firmy STASTO Automation s.r.o.. Pro sledování pozice výpusti byly použity v krajních polohách mechanické koncové spínače a ve středním otevření indukční snímač. Výpusť a její součásti jsou zobrazeny na A6 a A7.

Ostatní signály o zavření vah nebo otevření vpusti kameniva byly realizovány z důvodů finanční úspory pomocí mechanických koncových spínačů. Tyto signály mají při výrobním procesu velmi důležitou funkci, protože není možné započít navažování, pokud váha není skutečně zavřena. Jednotlivé čidla jsou na fotografiích vah A8 a A9.

Vstupní tenzometrický signál z vah, jak jsem již výše uvedl, je snímán pomocí jednotky Siwarex CF, která umožňuje přímé připojení tenzometru. Tento signál je v programu dále upravován a kalibrován. Na míchačce jsou použity tři tenzometry DF2SR-3 s maximálním zatížením do 5 kg od firmy HBM (HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH). Každá z použitých vah cementu, vody a přísad má vlastní tenzometr. Jelikož ale do každé váhy jsou přiváděny dvě vstupní suroviny, jedná se o součtový typ vážení, kdy nejprve navážíme jednu surovinu a teprve po jejím navážení

začneme vážit druhou. Výpusti jednotlivých vah jsou opět realizovány pomocí miniaturních pneumatických válců, tentokrát jednočinných, neboť nám stačí pozice otevřeno a zavřeno. Váhy cementu a přísad jsou na obrázku A8 a váha vody na obrázku A9.

Jednotlivé pneumatické válce na míchačce jsou ovládány z miniaturního pneumatického rozvaděče, který je zobrazen na obrázku A10. Použité elektromagnetické ventily mají ovládací napětí cívky 24 VDC, proto nejsou ovládány spínacím relé, ale přímo z výstupu systému.

Poslední ovládanou částí na míchačce je série čerpadel, která simuluje dodávku vod a přísad do mísícího procesu. Fotografie čerpadel je na obrázku A11 a zásobníky jsou na obrázku A12. Model obsahuje čtyři zásobníky na tekutiny:

- 1x větší na technologickou vodu
- 1x větší na kalovou vodu
- 2x menší na dvě různé přísady

Pro dopravu tekutin do vah byly použity motorky z ostřikovačů osobního automobilu Škoda 120. Tyto motorky mají ovšem vysoký odběr proudu (3 A na jeden motorek), proto musel být v modelu použit výkonnější napěťový zdroj 12 VDC o velikosti dodávaného proudu 16 A. Jelikož dodaný průtok motorkem je poměrně vysoký, musel být do rozvodu přísad instalován škrticí ventil, aby bylo možné přísady přesně vážit. Technologickou vodu využívají tři čerpadla. Jedno pro přímé navážení do váhy dle zvolené receptury, druhé pro jemné dovážení vody. Toto dovážení je plně v kompetenci obsluhy betonárny a je měněno na základě konzistence betonu. Třetí čerpadlo slouží pro oplachování váhy přísad, aby nedošlo k jejímu zalepení.

5.2.3 Vážicí vůz

Třetí a poslední rozvaděč jsem použil pro všechna zařízení instalovaná v blízkosti vážicího vozu. Foto rozvaděče je na obrázku A13. Ve vážicím voze jsou použity 2 vstupní karty po 8-mi vstupech, 2 výstupní karty po 8-mi výstupech, 1 analogová karta se 2-mi napěťovými signály 0-10V a 1 karta Siwarex CF pro snímání tenzometrického signálu.

Seznam použitých digitálních vstupů ve vážicím voze:

- klapka zásobníku kameniva 1 vlevo uzavřena

- klapka zásobníku kameniva 1 vpravo uzavřena
- klapka zásobníku kameniva 2 vlevo uzavřena
- klapka zásobníku kameniva 2 vpravo uzavřena
- klapka zásobníku kameniva 3 vlevo uzavřena
- klapka zásobníku kameniva 3 vpravo uzavřena
- kontrola otáčení pasu pod násypkami
- kontrola otáčení pasu do míchačky
- bezpečnostní lanko pasu pod násypkami
- bezpečnostní lanko pasu do míchačky

Seznam použitých digitálních výstupů ve vážícím voze:

- otevřít klapku zásobníku kameniva 1 vlevo
- otevřít klapku zásobníku kameniva 1 vpravo
- otevřít klapku zásobníku kameniva 2 vlevo
- otevřít klapku zásobníku kameniva 2 vpravo
- otevřít klapku zásobníku kameniva 3 vlevo
- otevřít klapku zásobníku kameniva 3 vpravo
- motor pasu pod násypkami
- motor pasu do míchačky

Seznam použitých analogových vstupů ve vážícím voze:

- vlhkoměr písku
- tlak v pneumatickém okruhu

Seznam použitých tenzometrických vstupů ve vážícím voze:

- hmotnost pasu kameniva

Dominantou vážícího vozu jsou zásobníky na kamenivo a pas umístěný pod násypkami (obr. A14). Tento pas je celý zavěšen na tenzometru DF2SR-3, tentokrát s maximálním zatížením 10 kg. Opět se tedy jedná o součtové vážení kameniva. Do míchačky je kamenivo dopraveno pasem s vynašecími zarážkami (obr. A15). Aby nedošlo k zasypání dopravníku do míchačky, je vážený dopravník spínán v návaznosti na objemu množství, které

je aktuálně na pase. Pro otáčení pasů byl použit stejný motorek jako pro otáčení míchačky a šneků cementových sil. Stejně jako u míchačky jsou pro kontrolu na pasech instalovány čidla otáčení. Pokud tyto čidla nedávají systému pravidelný signál o otáčení pasů, dojde opět k jejich okamžitému zastavení. Na vázicím pase byl použit indukční snímač, na šikmém pase potom optický difúzní snímač, neboť montáž indukčního čidla nebyla vzhledem k zarážkám na pase možná. Čidla otáček jsou na obrázcích A18 a A19.

Kamenivo před navážením je umístěno ve třech zásobnících, jejichž výpusti směřují doprostřed vázicího pasu. Detail jednoho ze zásobníků je na obrázku A17. Každý zásobník má dvě klapky. Pokud je úroveň navážení ze zásobníku větší než stanovená mez, otevřou se při navažování obě klapky a při dovážení již pouze jedna. Je-li úroveň navážení menší než stanovená mez, započne navažování pouze z jedné z klapek. Mez pro jednu či dvě klapky jsem si stanovil na základě provedené zkoušky, kdy byl zásobník naplněn otevřen a ihned zavřen. Množství materiálu, které dopadlo na pas, s malou rezervou potom činí referenční hodnotu meze. Klapky jsou ovládány pomocí jednočinných pneumatických pístů se zdvihem 25 mm, u nichž je návrat do klidové pozice realizován pomocí zpětné pružiny. Ovládání pístů je obdobné jako na míchačce a je zachyceno na obr. A16.

Na jeden z analogových vstupů bylo přivedeno výše popsání čidlo pro snímání tlaku v pneumatickém okruhu. Na druhý analogový vstup bylo plánováno připojit čidlo z vlhkoměru udávající vlhkost písku. Toto čidlo do modelu, ač bylo vytvořeno, nebylo nakonec zapojeno. Připojení čidlo totiž ztratilo význam, neboť na modelu není možné pracovat s pískem. Není samozřejmě problémem písek navážet, ale pracovat s ním. Drobné pískové zrníčka se dostanou například pod stírací gumy pasu do míchačky, následně propadnou k hnacímu válci, a ten začne prokluzovat, popř. se pas zastaví úplně. Dále díky drobnému písku není možno otevřít výpusť míchačky. Výpusť je koncipována velmi přesně, aby z míchačky nevytékala voda, pokud se ale mezi stěny výpusti zaklíní drobné kamínky, není možné ji otevřít. Z těchto důvodů je k výrobě betonu na modelu využít pouze drobný vybíraný kamínek zbavený prachu a malých částic.

Na závěr této kapitoly přikládám celkové foto vytvářeného modelu (obr. 5.2)



Obr. 5.2 Model betonárny

6. Realizace řídicího programu

Jelikož byl program vytvářen pro zadavatele firmu PEMTEC a ta jej bude dále používat ke svým obchodním aktivitám, není možné dát k dispozici celý zdrojový kód PLC programu vytvořeného pomocí softwaru pro programování automatů Siemens – Simatic Step7 nebo zdrojový kód z vizualizace vytvořený pomocí WinCC.

Tvorba řídicího programu se odvíjela od výše popsaných zákonitostí, zvyků a bezpečnostních požadavků. Strukturu programu jsem vybral objektovou, neboť např. ovládání navážení ze sila 1 je totožné s navážením ze sila 2, jenom s jinými vstupními parametry. Díky tomu nebude další rozšíření programu znamenat žádné velké potíže. Dalším prvkem pro přehlednější programování je rozdělení jednotlivých zařízení do paměťových skupin:

- cement a všechny zařízení s ním spojená - paměťový a datový prostor 100 – 200
- voda a všechny zařízení s ní spojené - paměťový a datový prostor 200 – 300
- přísady a všechny zařízení s nimi spojenými - paměťový a datový prostor 300 – 400
- kamenivo a všechny zařízení s ním spojená - paměťový a datový prostor 400 – 500
- míchačka a všechny zařízení s ní spojená - paměťový a datový prostor 500 – 600

PLC program byl vytvořen v řádkovém diagramu a jeho složitosti nejlépe vypovídá velikost symbolické tabulky, která v sobě sdružuje na 700 adres různých typů, včetně 50-ti časovačů. Dalších 170 datových proměnných je uloženo v datových blocích.

6.1 Popis bloků PLC programu

- OB1 – hlavní program – tvoří hlavní běh programu a jsou z něj volány jednotlivé funkce na základě podmínek, zda může být daná funkce volána
- FC1 – funkce pro kalibraci jednotlivých vah. Z této funkce je volán funkční blok FB1 s datovým blokem DB1-DB4.
 - DB1 – datový blok s parametry pro kalibraci váhy cementu
 - DB2 – datový blok s parametry pro kalibraci váhy vody
 - DB3 – datový blok s parametry pro kalibraci váhy přísad
 - DB4 – datový blok s parametry pro kalibraci váhy kameniva

Výstupní parametry z kalibrace jednotlivých vah jsou potom uloženy do datového bloku DB9.

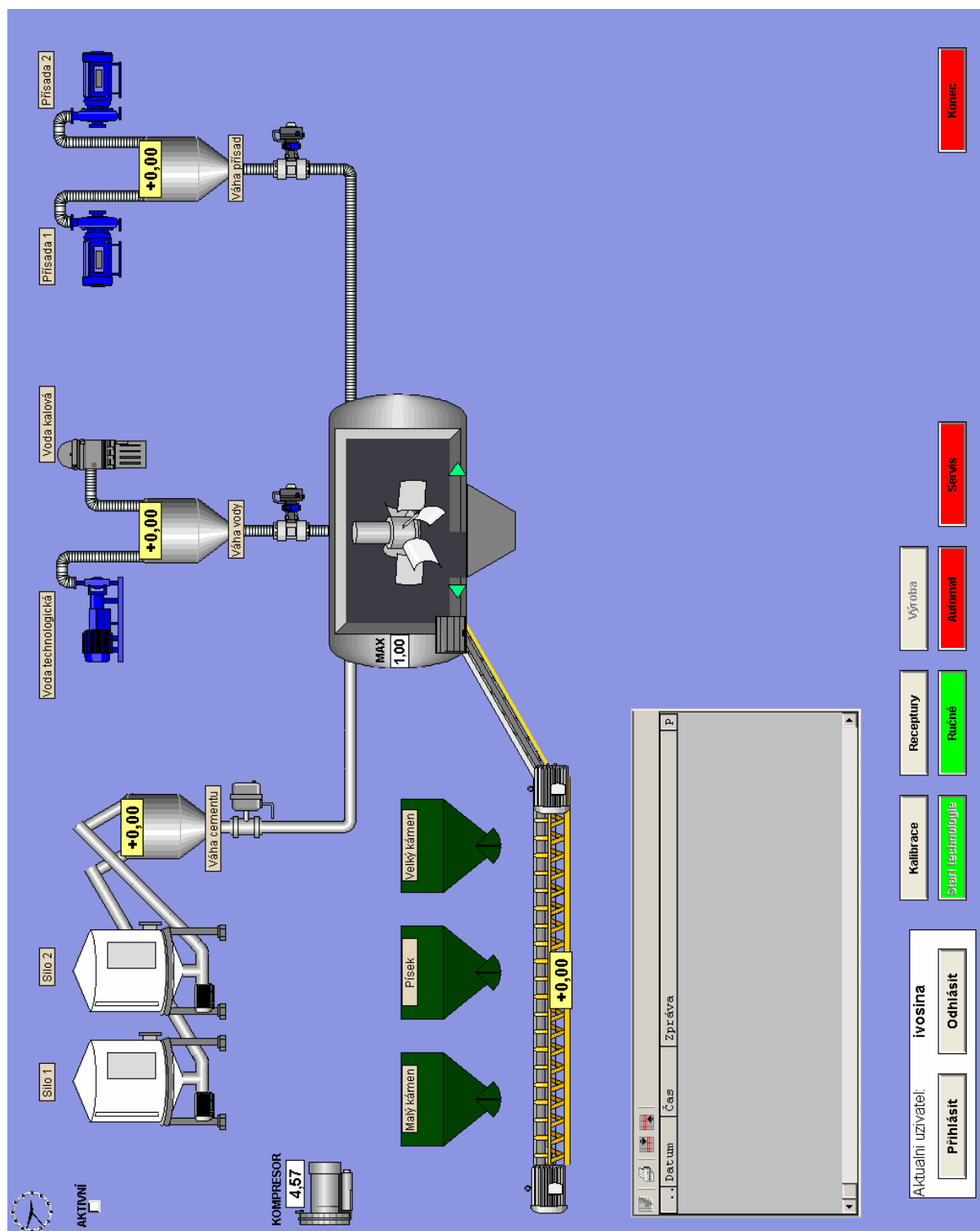
- FC2 – funkce pro obsluhu ručního panelu při mytí míchačky
- FC3 – funkce pro postupné volání jednotlivých technologických částí na betonárně
- FC4 – funkce pro převedení vnějších vstupů na „paměťové markery“
- FC5 – funkce pro zrušení markerů při ukončení kalibračního okna
- FC6 – funkce pro zobrazení aktuální hodnoty v jednotlivých vahách. Z této funkce je volán funkční blok FB2 s datovými bloky DB5-DB8 a dále je využíván datový blok DB9 s jednotlivými parametry vah
 - DB5 – datový blok s parametry pro zobrazení aktuální hodnoty ve váze cementu
 - DB6 – datový blok s parametry pro zobrazení aktuální hodnoty ve váze vody
 - DB7 – datový blok s parametry pro zobrazení aktuální hodnoty ve váze přísad
 - DB8 – datový blok s parametry pro zobrazení aktuální hodnoty ve váze kameniva
- FC7 – funkce pro přepínání jednotlivých režimů, ve kterých se může řízení nacházet – ruční, automatické, servisní
- FC8 – funkce pro přiřazení výsledných vnitřních stavů na výstupy (např. otáčení míchačky může být inicializováno z ručního, automatického nebo servisního režimu)
- FC9 – funkce pro ovládání vázícího pasu
- FC10 – funkce pro ovládání vynášecího pasu
- FC11 – funkce pro ovládání míchačky
- FC12 – funkce pro ovládání výpusti míchačky
- FC13 – funkce pro ovládání navážení malého kamene
- FC14 – funkce pro ovládání navážení písku
- FC15 – funkce pro ovládání navážení velkého kamene
- FC16 – funkce pro ovládání navážení cementu ze síla 1
- FC17 – funkce pro ovládání navážení cementu ze síla 2
- FC18 – funkce pro ovládání výpusti váhy cementu
- FC19 – funkce pro ovládání navážení technologické vody
- FC20 – funkce pro ovládání navážení kalové vody
- FC21 – funkce pro ovládání výpusti váhy vody
- FC22 – funkce pro ovládání navážení přísady 1
- FC23 – funkce pro ovládání navážení přísady 2

- FC24 – funkce pro ovládání výpusti váhy přísad
- FC25 – funkce pro zrušení paměťových markerů při ukončení aplikace WinCC
- FC26 – funkce pro zrušení paměťových markerů při ukončení navažování v ručním režimu
- FC27 – funkce pro ovládání jednotlivých zařízení v servisním režimu
- FC28 – funkce pro načtení množství výroby z jednotlivých surovin při automatické výrobě
- FC29 – funkce pro ovládání kompresoru
- FC30 – funkce pro ovládání vpusti kameniva do míchačky
- FC31 – funkce pro hlavní běh výroby v automatickém režimu. Z této funkce jsou postupně volány ostatní funkce, jejichž posloupností se vyrobí požadovaný beton.
- FC32 – funkce pro navážení jednotlivých surovin v automatickém provozu
- FC33 – funkce pro zápis skutečně naváženého množství surovin v automatickém provozu
- FC34 – funkce pro ovládání pasů v automatickém provozu
- FC35 – funkce pro vypouštění vah v automatickém provozu
- FC36 – funkce pro promíchání betonu v míchačce a jeho vypuštění
- FC37 – funkce pro sjednocení důležitých alarmů a zobrazení jejich společné vyššího upozornění
- DB10 – datový blok s uloženými parametry pro hladiny spínání kompresoru
- DB100 – datový blok s uloženými proměnnými stavy pro cement
- DB200 – datový blok s uloženými proměnnými stavy pro vodu
- DB300 – datový blok s uloženými proměnnými stavy pro přísady
- DB400 – datový blok s uloženými proměnnými stavy pro kamenivo
- DB500 – datový blok s uloženými proměnnými stavy pro míchačku
- DB1000 – datový blok s uloženými proměnnými receptur
- DB1001 – datový blok s uloženými proměnnými aktuálně vyráběného množství

6.2 Vizualizace

Jak bylo výše uvedeno, vizualizace a ovládání technologie betonárny jsou naprogramovány pomocí WinCC. Po spuštění aplikace se objeví základní obrazovka, která je zachycena na obr. 6.1.

Obr. 6.1 – Základní obrazovka operátorského panelu



Na obrázku můžeme vidět v pravém horním rohu dvě cementová sila a jejich napojení do cementové váhy, uprostřed nahoře čerpadla pro vodu a jejich napojení do váhy, v pravém horním rohu čerpadla přísad a taktéž napojení do váhy. Všechny tyto váhy ústí do míchačky, která je uprostřed obrazovky. Vlevo uprostřed jsou zaznačeny zásobníky kameniva a pasy dopravující kamenivo do míchačky. Vážený pas a váhy cementu, vody a přísad mají na sobě ukazatel aktuální navážené hmotnosti ve váze. Mezi cementová sila a zásobníky kameniva je umístěn kompresor s údajem o aktuálním tlaku pneumatického okruhu. Místo pod vážicím pasem je vyhrazeno pro chybová hlášení, ještě níže je umístěno přihlašování uživatelů. Ve zbylé spodní části jsou umístěny tlačítka pro přepínání režimů, kalibraci vah, otevření databáze receptur nebo započetí výroby.

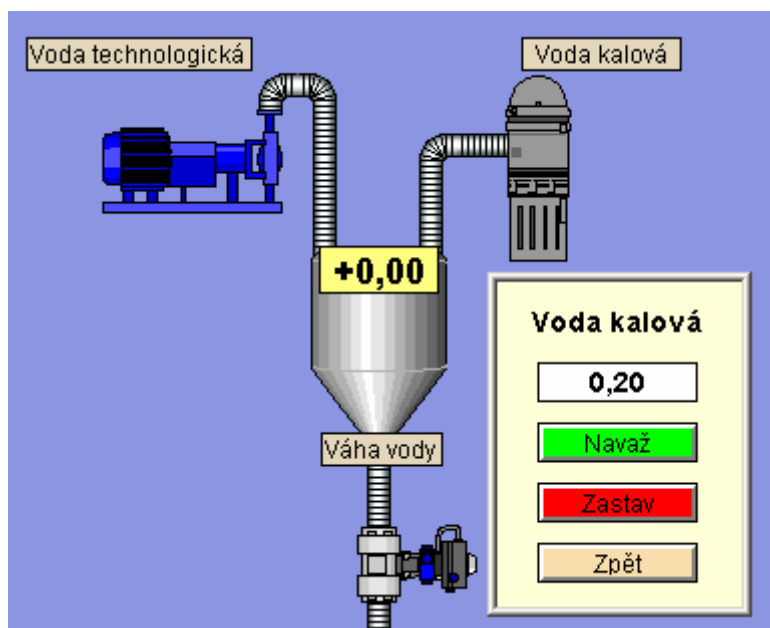
Jakmile se otevře okno technologie je nejprve nutné stisknout tlačítko „Start technologie“. Toto tlačítko je také nutné stisknout po aktivaci bezpečnostního vypnutí central stop nebo při přechodu ze servisního režimu zpět do pracovních režimů. Po startu technologie již můžeme volit režim, ve kterém chceme pracovat. Automaticky je nejprve nastaven ruční režim. Tlačítko pro úpravu receptur je aktivní až pro uživatele s vyššími právy, stejným způsobem je blokována i kalibrace vah a zapnutí servisního režimu. Ukončení aplikace je možné pouze z ručního režimu.

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé režimy a možnosti ovládání těchto režimů a taktéž další součásti vizualizace.

6.2.1 Ruční režim

Ruční režim není primárně určen k výrobě betonu. Umožňuje ovšem navážet jednotlivé suroviny, dopravit je do míchačky a tam zamíchat, proto by se pomocí něj samozřejmě beton dal vyrobit.

K aktivaci navážení zvolené suroviny stačí kliknutí myší na silo, motor nebo násypku a otevře se menší okno pro ovládání navážení (obr 6.2). Okno obsahuje pole pro zadání velikosti navážení, tlačítka pro start navážení, zastavení navážení a zavření okna. Navážení se samozřejmě zastaví automaticky při naplnění váhy na požadovanou hodnotu, proto se tlačítko „Zastav“ použije pouze pro předčasné zastavení navažování.



Obr. 6.2 – Navážení zvolené suroviny

Jak už jsem dříve popisoval, jsou jednotlivé motory vytvořeny pomocí strukturovaných tagů, proto se používá stejné okno pro navážení všech surovin. V tomto okně se mění pouze název, který je přebrán od motoru vyvolávajícího okno a zobrazuje se vždy v blízkosti daného motoru. Jelikož se jedná o složitější způsob programování, je nutno použít C-skript.

Příklad skriptu pro otevření ovládacího okna technologické vody s převzetím prefixu čerpadla:

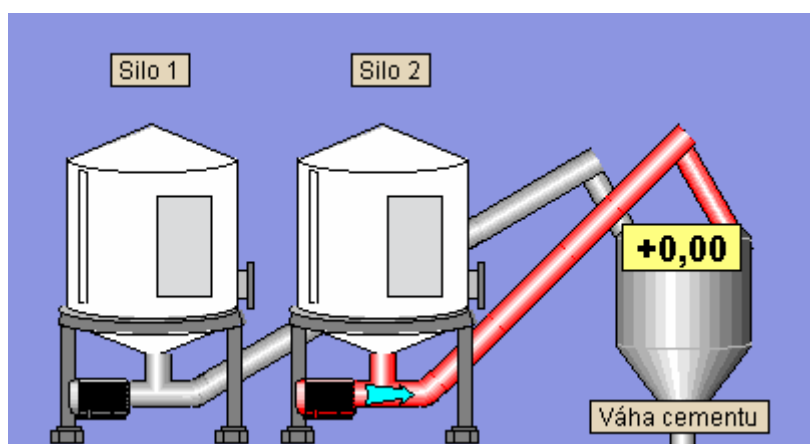
```
#include "apdefap.h"
void Click(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName )
{
    #define MOTOR "Cerpadlo_technologicka."
    #define MAIN "Hlavni.Pdl"
    #define TEXT "Voda technol."
    #define OBJEKT "StaticText1"
    #define TAG "Cerpadlo_technologicka.hodnota"

    long int x, y;
    float inic;

    SetVisible(MAIN,"NAVAZ",0);
    SetTagPrefix(MAIN,"NAVAZ",MOTOR);
    x = GetLeft(lpszPictureName,lpszObjectName);
    y = GetTop(lpszPictureName,lpszObjectName);
```

```
SetLeft(MAIN,"NAVAZ",x-48);  
SetTop(MAIN,"NAVAZ",y+80);  
SetVisible(MAIN,"NAVAZ",1);  
SetText("NAVAZ",OBJEKT,TEXT);  
  
inic=GetTagFloat(TAG);  
SetOutputValueDouble("NAVAZ","hodnota",inic);  
  
}
```

Pro zpětnou kontrolu, zda je motor aktivní nebo ne, navažovaná cesta změní svoji barvu na červenou (motor + potrubí). Tím má obsluha jasný přehled, co je právě aktivní. Příklad aktivovaného navažování z cementového sila je na obrázku 6.3.

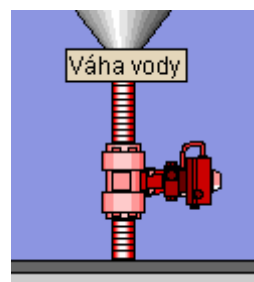


Obr. 6.3 –Navažování ze sila 2 aktivní

Vypouštění z jednotlivých vah je naprogramováno stejným způsobem (obr. 6.4), s tím rozdílem, že se nezobrazí žádný číselný údaj v ovládacím okně. Opět se při otevření váze změní barva potrubí a ventilu váhy na červenou barvu. Aplikace snímá otevření přímo z mechanického čidla na váze, tudíž pokud operátor vydá povel k zavření váhy, tak se barva potrubí změní, až je skutečně váha zavřena (obr. 6.5).

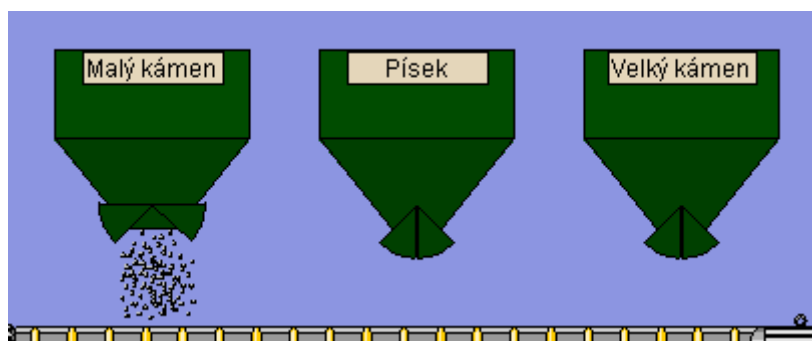


Obr. 6.4 – Ovládání váhy cementu

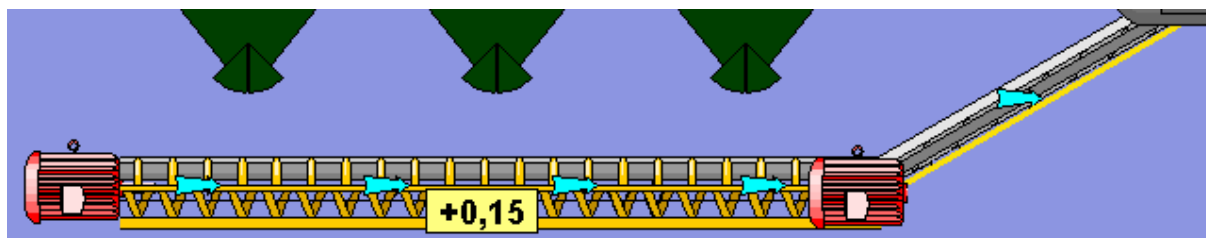


Obr. 6.5 Vypuštění vody aktivní

V rámci strukturovaných tagů jsem mohl použít ovládací okno z obrázku 6.4 rovněž pro ovládání míchačky a pasů pro dopravu kameniva do míchačky a okno z obrázku 6.2 pro ovládání navažení jednotlivých kameniv. Vizualizace při navažování kameniva je zobrazena na obrázku 6.6. Pokud je aktivní pouze jedna z klapek, tak se i operátorovi zobrazí pouze jedna klapka jako otevřená a druhá zůstane zavřená. Stav aktivních pasů je zobrazen na obrázku 6.7.

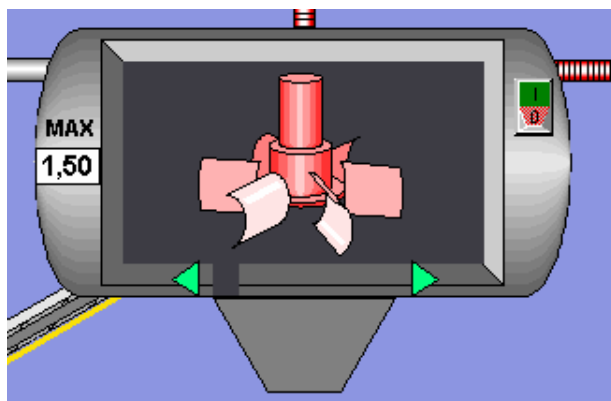


Obr. 6.6 – Navažování z malého kamene aktivní



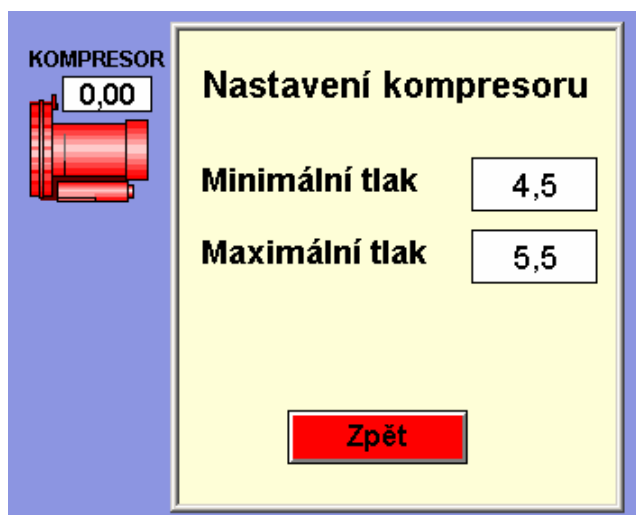
Obr. 6.7 – Pasy aktivní

Pro vizualizaci otáčení míchačky se změnila barva vrtule umístěné uprostřed míchačky a ta je navíc překlápěna ve směru vertikální osy, čímž vytváří dojem otáčení míchačky. Rozsah otevření výpusti je opět zobrazován přímo na základě signálů z čidel na výpusti. Na obrázku 6.8 je zobrazena aktivní míchačka a výpusť míchačky není zcela důvěřena na čidlo.



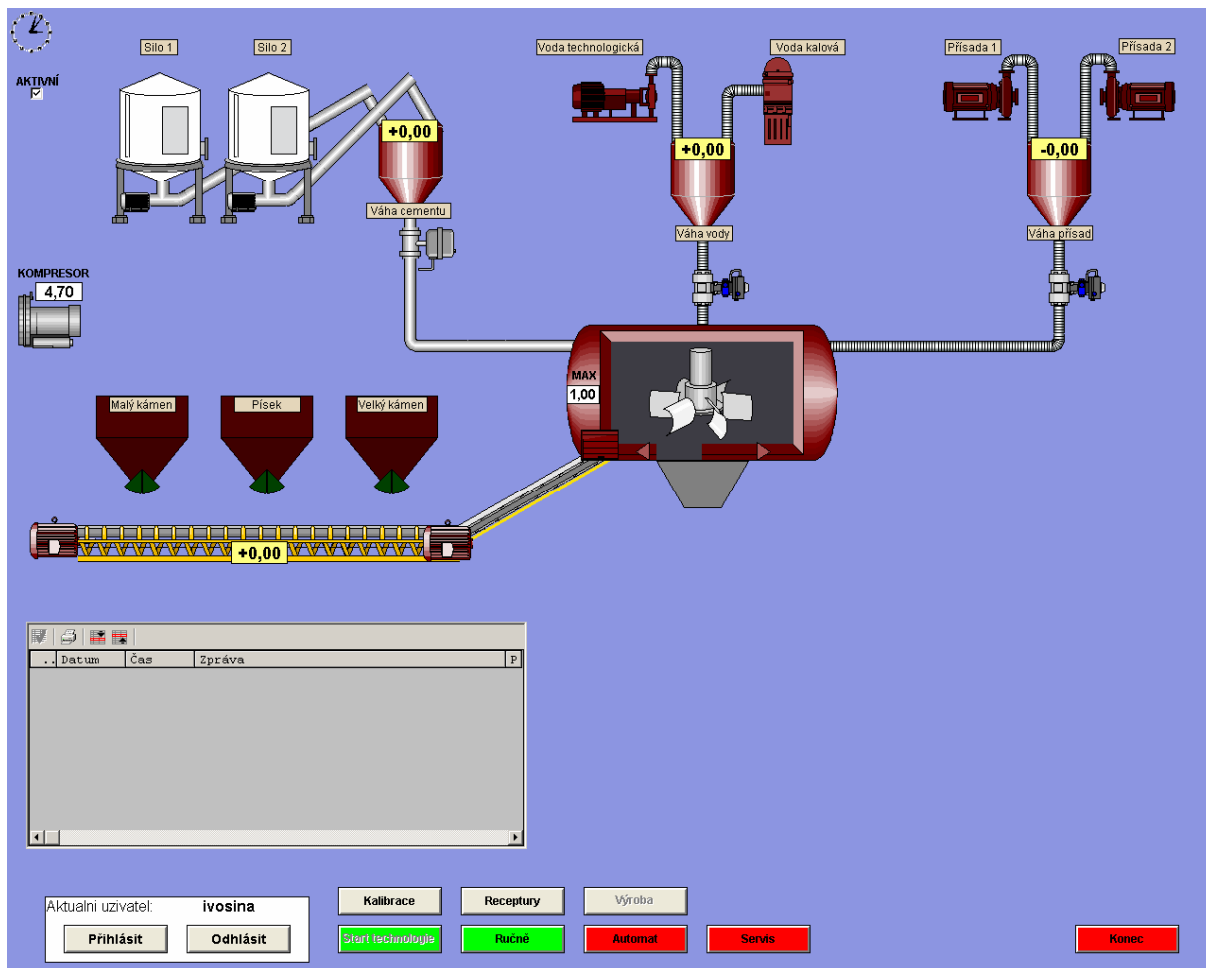
Obr. 6.8 – Míchačka aktivní

Dalším zařízením, které je možno v ručním režimu ovládat, je kompresor. Po kliknutí na motor kompresoru se zobrazí okno (obr. 6.9), v němž je možno nastavit spínané rozmezí tlaku v pneumatickém okruhu.



Obr. 6.9 – Nastavení kompresoru

Posledním prvkem majícím význam v ručním režimu je checkbox v horním levém rohu s názvem AKTIVNÍ. Po zaškrtnutí checkboxu se rozblíkají tmavočervenou barvou všechny prvky, které je možno v ručním režimu ovládat (obr 6.10).



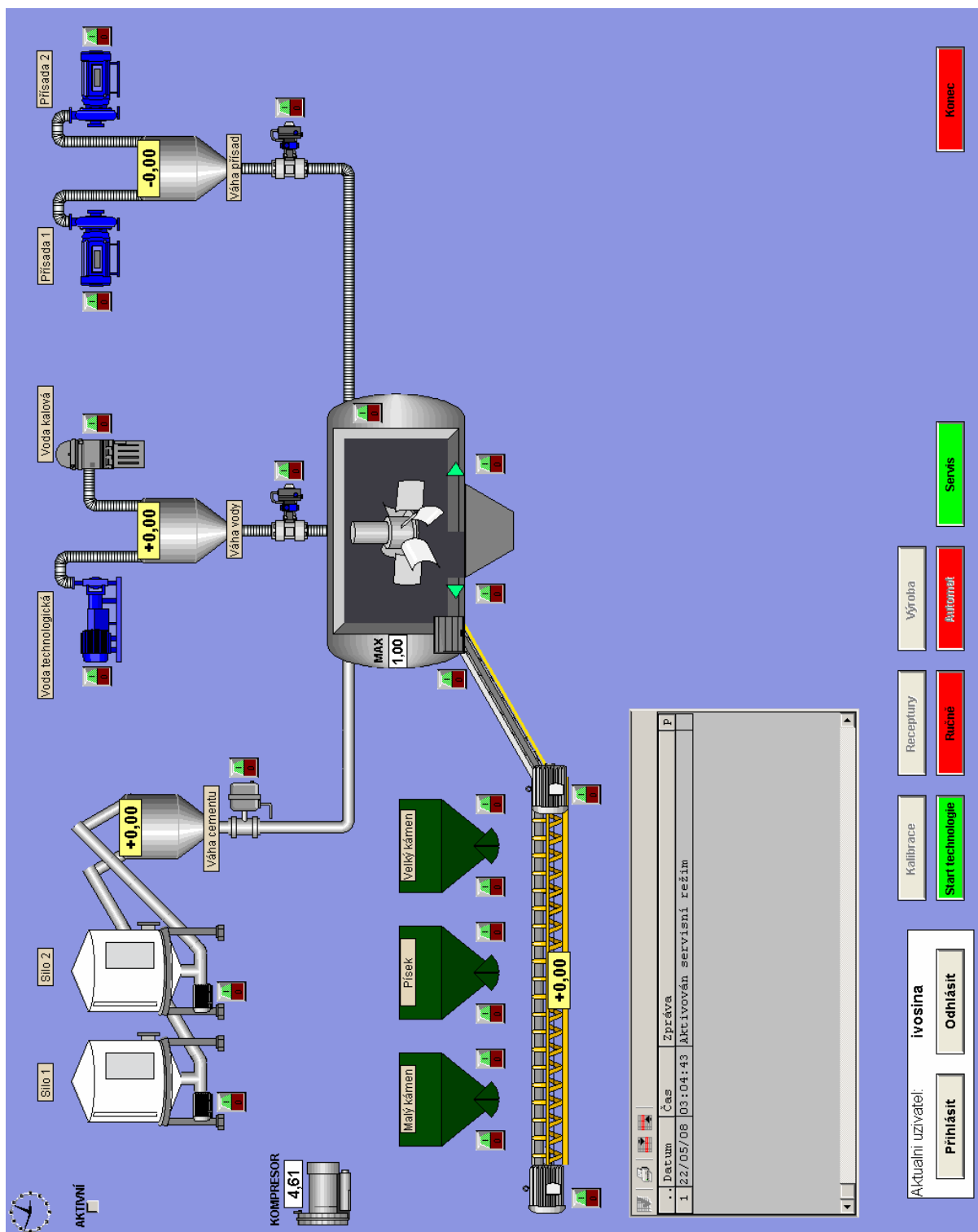
Obr. 6.10 – Zobrazení aktivních prvků v ručním režimu

6.2.2 Servisní režim

Vytvoření tohoto režimu je nápadem zadavatele a nic podobného nemá firma Martek Elektronik s.r.o. ani CSE spol. s r.o.. V tomto režimu, do kterého má přístup pouze přihlášený uživatel, se u každého zařízení, které je možno ovládat zobrazí vypínač, který není ničím blokován a přímo aktivuje daný motor, ventil či klapku (obr 6.11). Režim bude sloužit hlavně při servisních opravách, kdy není například možné z běžného programu spustit vibrátor váhy, provzdušnění sila nebo čerpadlo pro zjištění otáček motoru. V takových případech je servisní

technik nucen přímo mechanicky aktivovat stykač daného zařízení, což nemusí být vždy možné, nemluvě o ohrožení života a opotřebení stykače nerovnoměrným sepnutím.

Obr. 6.11 – Servisní obrazovka operátorského panelu



6.2.3 Kalibrace vah

V ručním režimu po stisknutí tlačítka Kalibrace se zobrazí kalibrační okno (obr. 6.12). Do tohoto okna má přístup jakýkoliv uživatel. Po vyplnění jednoho z checkboxů, v návaznosti na váhu, kterou chce kalibrovat, může provádět táru váhy, což znamená vynulovat její hodnotu, aniž by zasáhl do parametrů kalibrace. Toto tárování se provede stiskem tlačítka „Tára hodnoty“. Zapsanou nulu vedle tohoto tlačítka není možné ovlivnit. Má pouze informační charakter, aby si obsluha uvědomila, že po stisknutí tohoto tlačítka se na váze objeví hodnota 0 kg. Jakmile je vybrána jedna z vah, není možné vybrat jinou váhu, až do doby než je checkbox kalibrované váze odebrán.

Kalibrace vah

Váha cementu	Váha vody	Váha přísad	Váha kameniva
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0,000	Nulová kalibrační hodnota		
1,500	Požadovaná kalibrační hodnota		
0,000	Tára hodnoty		
Zpět			

Obr. 6.12 – Okno kalibrace váhy

Samotnou kalibraci váhy již může provádět pouze přihlášený uživatel s právy na kalibraci vah. Postup kalibrace je následující:

- pokud je váha prázdná a vyčištěná, pověřená osoba provede načtení nulové hodnoty váhy pomocí stisknutí tlačítka „Nulová kalibrační hodnota“ (Nulu vedle tlačítka nelze stejně jako u tárování ovlivnit)
- po tomto načtení se na váhu postaví kalibrované závaží o známé hmotnosti
- stejná hmotnost jako kalibrovaná se zapíše do okna vedle tlačítka „Požadovaná kalibrační hodnota“
- po stisknutí tlačítka „Požadovaná kalibrační hodnota“ je kalibrace dokončena
- v PLC programu se spočítá z nulové a požadované kalibrační hodnoty kalibrační parametr váhy a na operátorském panelu se ihned ve váze zobrazí zadaná požadovaná hodnota, neboť je na ní kalibrační závaží
- při správné kalibraci se po odejmutí závaží zobrazí nulová hodnota ve váze

Zavření okna kalibrace se provede stisknutím tlačítka „Zpět“. Po stisknutí tohoto tlačítka se automaticky zruší checkbox udávající, která váha byla kalibrována.

6.2.4 Receptury

Aby bylo možné vyrábět v automatickém režimu, je samozřejmě nutná databáze receptur. V naší aplikaci se okno pro receptury zobrazí po stisku tlačítka „Receptury“. Toto tlačítko je opět aktivní pouze pro přihlášeného uživatele s právem měnit receptury. Obrazovka receptur je na obr. 6.13.







Manažer receptur byl vytvořen pomocí jedné ze součástí WinCC, a to pomocí aplikace User Archive. Tato součást je určena pro uchovávání dat a je přímo propojena s databázovým systémem Microsoft SQL Server, který je nutnou podmínkou pro instalaci WinCC. Jedinou nevýhodou při použití User Archivu je jeho zpoplatnění, neboť se jedná o opční součást WinCC, navíc se nejedná jenom o finanční investici při nákupu softwaru, ale pro provoz aplikace si musí koncový zákazník zakoupit kromě licence pro Run-time ještě pracovní licenci User Archivu, čímž se samozřejmě cena za náš produkt navyšuje. User Archive je ale opět silným nástrojem a jeho použitím odpadá veškeré programování pro přístup do databází a ošetření výjimek při práci s databázovým systémem, proto jsem ho také ve své aplikaci použil a počítám s ním i při dalším rozšiřování řídicí aplikace. Přes spoustu možností, které User Archive nabízí, jsem je všechny nevyužil, a proto je povoleno receptury ovládat jenom pomocí následujících ikon a ostatní jsou zakázány:

Obr. 6.13 – Obrazovka pro zadávání a úpravu receptur

Receptury

Zpět

	Nazev	Cement1	Cement2	Malý_kamen	Flisek	Velký_kamen	Voda_tecnologi	Voda_kalova	Prisada1	Prisada2	LastAccess
1	B10	180	0	0	790	985	84	0	0	0	5/11/2008 8:52:52 AM
2	C12/15	0	265	120	940	880	130	60	2.3	0	5/11/2008 8:55:06 AM
3	B20	280	100	0	820	945	100	90	0	2.2	5/11/2008 8:56:29 AM
4	B25	315	45	0	820	945	100	80	0	2.52	5/11/2008 8:57:14 AM
5	C25/30	355	20	0	812	940	160	20	2.8	0	5/11/2008 8:58:06 AM
6	C30/37	400	30	120	850	760	150	26	3.4	0	5/11/2008 8:59:10 AM
7	C35/45	730	0	120	750	875	170	0	3.5	0	5/11/2008 8:59:44 AM
...											

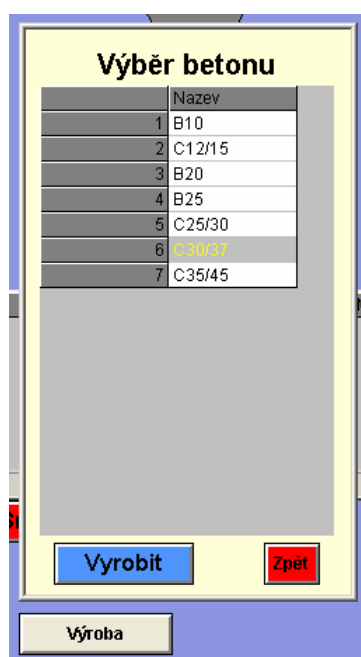
-  vymazání receptury
-  vytvoření nové receptury
-  import receptury z tabulky excelu
-  export receptury do tabulky excelu
-  tisk receptur
-  nápověda pro receptury

Uzavření okna pro správu receptur se provádí pomocí tlačítka „Zpět“ v pravém horním rohu. Po jeho aktivaci se okno uzavře a opět se otevře základní obrazovka.

6.2.5 Automatický provoz

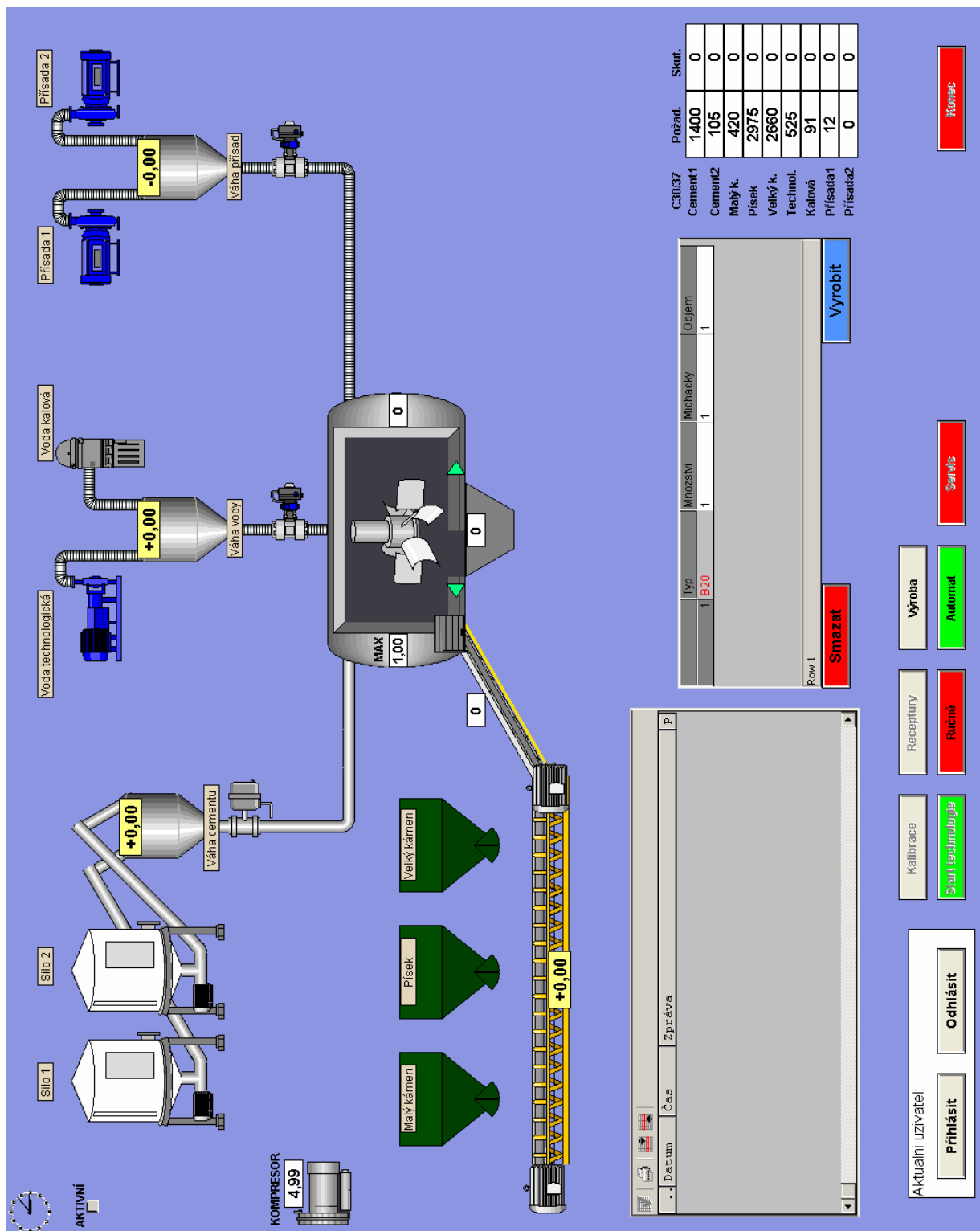
Automatický režim se aktivuje pomocí tlačítka „Automat“, čímž se ve spodní levé části okna zobrazí okno pro frontu receptur a informační tabulka s udanou hodnotou požadovaného navážení pro danou výrobu a skutečného navážení po výrobě. Okno automatického provozu je na obrázku 6.15.

Po aktivaci automatu se odemkne tlačítko „Výroba“, které slouží pro výběr receptury, jenž chceme právě vyrábět. Obrazovka pro výběr je na obrázku 6.14.



Obr. 6.14 – Obrazovka výběru vyráběné receptury

Obr. 6.15 – Obrazovka automatického provozu



Výběr požadované receptury se provede kliknutím myši na beton, který se má vyrábět. V této tabulce výběru se zobrazí všechny receptury, které jsou zadány v okně receptur. Jedná se vlastně o tutéž obrazovku User Archivu, ve které je ovšem zobrazen pouze název betonu a nejsou zobrazeny žádné ikony. Po stisknutí tlačítka vyrobit se zobrazí okno pro potvrzení výroby a zadání počtu vyráběných litrů (obr. 6.16).

Okno opět do svého textu přebírá název typu betonu, který se bude vyrábět, aby si obsluha mohla zkontrolovat, že se nepřeklikla. Do číselného údaje se potom vypíše počet litrů, který se bude vyrábět. Pokud je stisknuto tlačítko „OK“ a v číselném údaji o počtu litrů je zapsána nula, objeví se chybové hlášení „Nezadal jsi počet vyráběných litrů!!!“. Toto hlášení je možno rovněž vidět na obrázku 6.16. Pokud je zadán objem výroby, tak se po stisku tlačítka „OK“ načte vybraný beton s objemem výroby do fronty pro výrobu. Při tomto načtení je brána v potaz hodnota udávající maximální objem, který se může v míchačce vyrábět (obr. 6.8). Pokud bude maximum nastaveno na 1 litr a požadovaný vyráběný objem bude 3,5 litru, provede se automatické rozdělení výroby na 4 míchačky o objemu 0,875 na jednu míchačku. Pokud se nemá vyrobit žádný beton, stačí stisknutí tlačítka „Zpět“ a k načtení betonu nedojde.



Obr. 6.16 – Zadání počtu vyráběných litrů

Po načtení betonu a množství výroby do fronty vyráběných betonů je již možné beton vyrobit nebo popřípadě ještě před výrobou smazat (obr 6.17). Tlačítko smazat není ničím blokováno, ovšem tlačítko vyrobit je aktivní pouze pokud:

- je nějaký beton ve frontě pro výrobu
- jsou skutečně zavřeny všechny váhy
- není na váhách větší množství materiálu než stanovená mez

	Typ	Mnozství	Michacky	Objem
1	C30/37	3.5	4	0.875
2	C12/15	5	5	1
3	B25	1.2	2	0.6

Row 2

Smazat **Vyrobít**

Obr. 6.17 – Fronta vyráběných betonů

Po stisku tlačítek „Vyrobít“ nebo „Smazat“ se zobrazí okno pro potvrzení výroby nebo smazání betonu z fronty (Obr. 6.18).

Opravdu chcete vyrobit 3,5 l betonu C30/37 ?

NE **ANO**

2	B25	1.2	2	0.6
---	-----	-----	---	-----

Row 1

Smazat **Vyrobít**

Obr. 6.18 – Potvrzení výroby

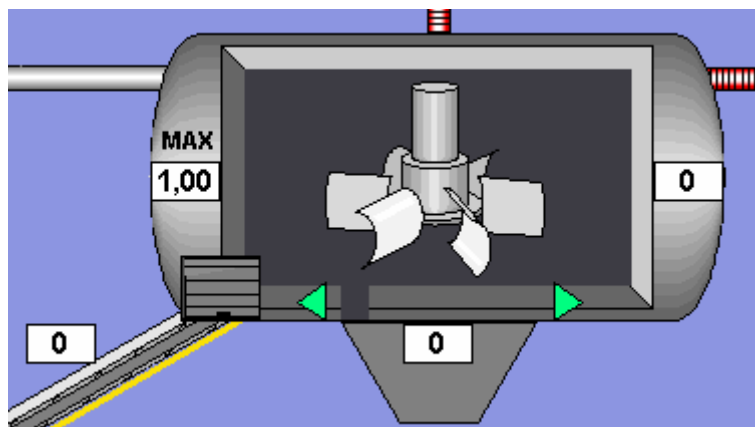
Stisknutím tlačítka „NE“ se okno uzavře a výroba betonu se neaktivuje. Po stisknutí tlačítka „ANO“ započne výroba, čímž se zablokuje tlačítko „Vyrobit“ a také tlačítko pro změnu režimu na ruční. I nadále má ale obsluha možnost zadávat beton do fronty výroby, nebo jej z fronty vymazat. Po započetí výroby se načtou celkové vyráběné hmotnosti jednotlivých surovin, z nichž se beton skládá (do sloupce „Požadované“). Sloupec „Skutečné“ je postupně aktualizován a jsou v něm sečteny všechny skutečně navážené hmotnosti z jednotlivých surovin (Obr. 6.19).

C30/37	Požad.	Skut.
Cement1	1400	0
Cement2	105	0
Malý k.	420	0
Písek	2975	0
Velký k.	2660	0
Technol.	525	0
Kalová	91	0
Přísada1	12	0
Přísada2	0	0

Obr. 6.19 – Kontrola skutečně navážených hodnot

Při zapnutí automatického režimu se vlevo uprostřed na míchačce zobrazí údaj o počtu míchaček, které se mají ještě vyrábět pro splnění celého objemu výroby. Pod míchačkou u výpusti se zobrazí časová hodnota, jak dlouho se ještě bude beton vyrábět do jeho vypuštění z míchačky a následném zavření výpusti. U pasu do míchačky se zobrazí časový údaj o době doběhu materiálu při plnění míchačky. Tyto pomocné údaje jsou zobrazeny na obrázku 6.20.

Po vyprázdnění míchačky s poslední záměsí se opět odblokuje tlačítko pro vyrobení betonu a přechod do ručního režimu. Jakmile je také dokončena výroba betonu, automaticky se vyráběný beton zruší z fronty výroby a systém upozorní zvukovým signálem na ukončení výroby.




Obr. 6.20 – Kontrola stavu výroby

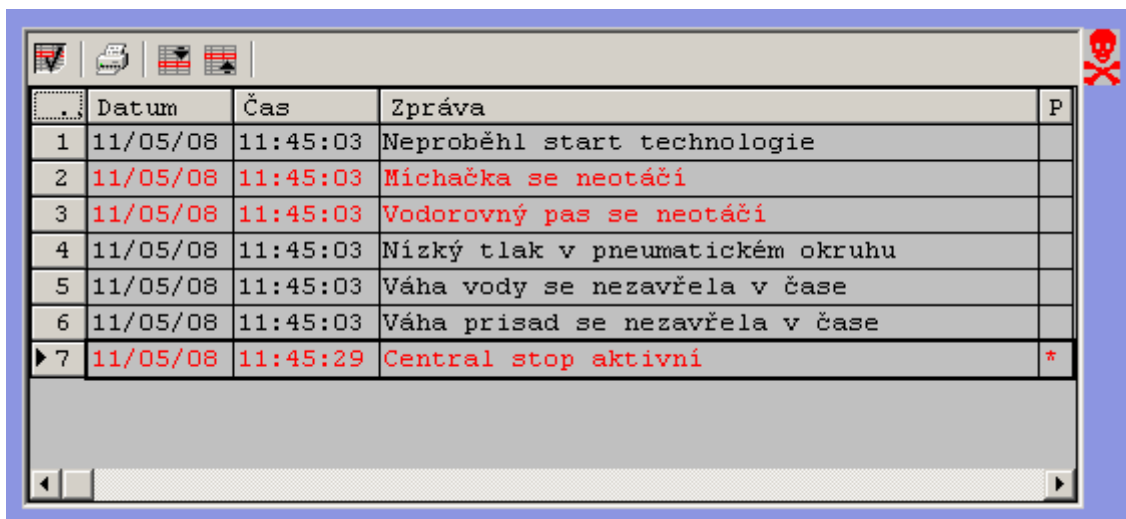
Při automatické výrobě se stejně jako v ručním režimu mění barvy jednotlivých motorů a potrubí, otvírají se klapky kameniva či ventily vah, aby bylo zcela zřetelné, co se právě při výrobě děje a obsluha měla lepší přehled o vyráběném procesu.

6.2.6 Chybová hlášení

Pro zobrazování chybových a informačních hlášení jsem využil další součást softwaru WinCC – Alarm Logging, který je přímo k tomuto účelu koncipován. Příklad chybových hlášení je na obrázku 6.21. Alarmy se dají rozdělit do několika skupin, dle jejich charakteru a důležitosti. Já jsem využil rozdělení do dvou skupin:

- Alarmy – u tohoto druhu chyby je nutno potvrdit, že obsluha chybu registruje
- Chybové hlášení - mají informační charakter a po pominutí důvodu k zobrazení hlášení se toto hlášení samo zruší

Pokud se tedy jedná o alarmové hlášení, které je nutno potvrdit, zobrazí se tento alarm červenou barvou a je nutné jej potvrdit pomocí ikony . Po tomto potvrzení se na konci seznamu ve sloupci P objeví hvězdička, že je alarm akceptován. Chybová hlášení jsou zobrazena černou barvou a nevyžadují potvrzení. Dále je možno na obrázku 6.21 vidět další tři ovládací ikony. Již podle jejich vzhledu je zřetelné, že se jedná o tisk alarmů a posunutí v alarmech nahoru a dolů.



	Datum	Čas	Zpráva	P
1	11/05/08	11:45:03	Neproběhl start technologie	
2	11/05/08	11:45:03	Michačka se neotáčí	
3	11/05/08	11:45:03	Vodorovný pas se neotáčí	
4	11/05/08	11:45:03	Nízký tlak v pneumatickém okruhu	
5	11/05/08	11:45:03	Váha vody se nezavřela v čase	
6	11/05/08	11:45:03	Váha prisad se nezavřela v čase	
7	11/05/08	11:45:29	Central stop aktivní	*

Obr. 6.21 – Okno chybových hlášení

Celkem bylo prozatím použito 50 hlášení spojených s chodem PLC programu a dalších 20 interních chybových stavů, které mohou vzniknout při ovládání aplikace.

6.2.7 Programovací technika

Snažil jsem se maximálně využít všech možností, které software WinCC nabízí pro maximální přehlednost programu. Byly využity strukturované tagy. Jednotlivé části obrazovky byly rozděleny do skupin dle jejich požadované časové obnovy. Pokud by nastavený čas nevyhovoval, stačí změnit čas pro celou skupinu a nemusím tak činit třeba pro 40 objektů. S výhodou bylo použito C – skriptu pro vytvoření podmínek, kdy může operátor dané tlačítko ovládat.

Jak je vidět na obrázcích aplikace, bylo ponecháno dostatečné místo pro rozšíření modelu o další síla, čerpadla či násypky. Celkem bylo při vytvoření vizualizace řízení betonárny použito 200 externích tagů, počet těchto externích tagů není zanedbatelný, neboť zakoupení Run-Time licence pro provoz zařízení se odvíjí od počtu externích tagů. S rostoucím počtem samozřejmě roste cena licence.

Proto stojí za zvážení kompletní rozdělení řízení na dvě části, kdy by na pozadí vizualizace běžel vlastní řídicí program implementovaný v C jazyku a komunikace s PLC by probíhala pouze například pomocí bitů ve dvou 32-bitových slovech. Dále by bylo nutno použít 4 tagy pro zobrazení hodnoty ve váze a 12 tagů pro vyráběné množství dle receptury.

Tímto způsobem by se bylo možno tedy vejít do 20 tagů. Nezjišťoval jsem zatím ovšem rozsahy a ceny zmiňované licence, proto není jasné, jestli by se tento způsob programování vůbec vyplatil, neboť každé další rozšiřování takto koncipovaného programu by bylo dosti náročné a více by zvyšovalo cenu než rozšíření současné struktury programu.

7. Závěr, zhodnocení

Cílem diplomové práce bylo vytvořit model simulující provoz betonárny a zvláště potom navrhnout vhodný způsob řízení betonárny. Tento cíl byl bezezbytku naplněn a výsledek je dobrým odrazovým můstek, aby firma PEMTEC mohla vstoupit na trh s vlastním řízením betonáren. Určitě ale práce na zdokonalení programu budou pokračovat, aby náš program byl schopný konkurovat zaběhnutým řídicím systémům.

Nadto každá z konkurenčních firem nabízí kromě řídicího programu betonáren také administrativní nadstavbu pro:

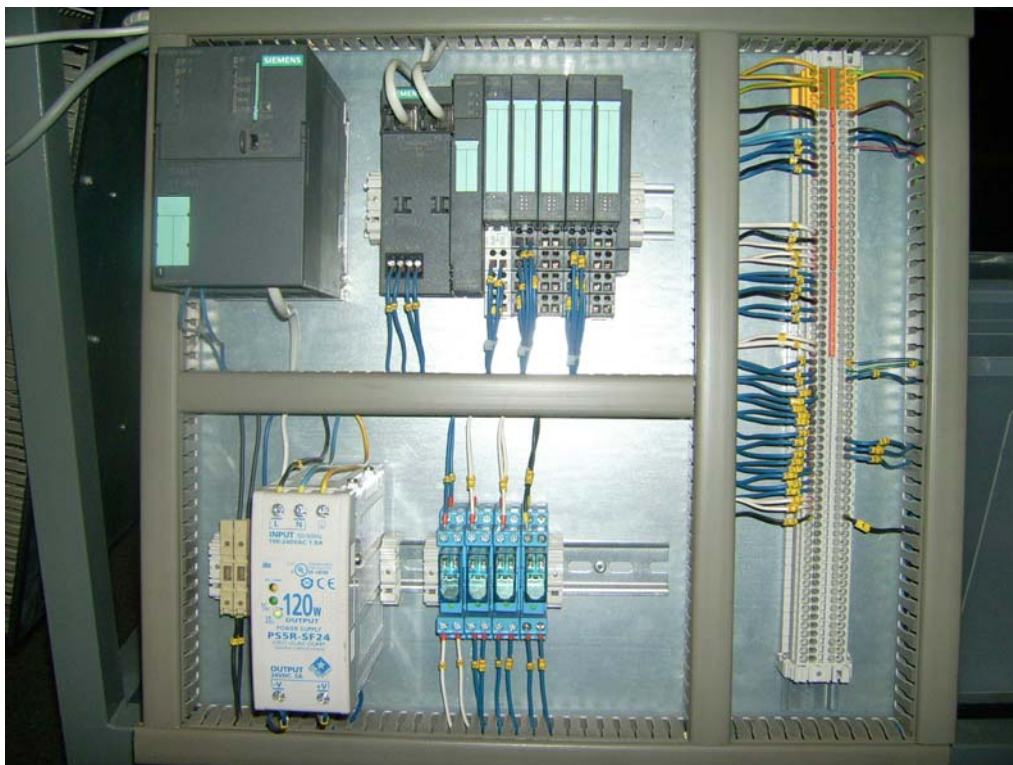
- vytištění záměsového listu
- evidenci zákazníků betonárny
- evidenci řidičů rozvážejících beton
- souhrnné přehledy vyrobeného množství a spotřebovaného kameniva v různých časových obdobích
- vytištění faktury
- přehledy tržeb

Tuto nadstavbu jsem ve své práci neřešil, ale jak už jsem uvedl výše, z důvodů konkurenceschopnosti bude muset být i toto rozšíření programu řešeno. Předtím je ovšem nutné udělat průzkum trhu, zda bude skutečně o naše řízení zájem a má smysl touto cestou pokračovat.

Další rozšíření programu už by záleželo dle každé betonárny. Není problém do programu zapojit ovládání recyklace, vodního hospodářství, cementového hospodářství nebo osvětlení betonárny. Každou z těchto částí jsem již dodávali samostatně s jednoduchým programovatelným automatem, proto je možné nabídnout zákazníkům i tuto možnost.

8. Použitá literatura:

- [1] Kolektiv autorů: *BETON, SLOŽKY-TECHNOLOGIE-VLASTNOSTI-ZKOUŠENÍ*, ČVUT Praha, Kloknerův ústav, 2005, ISBN 80-86604-24-1
- [2] Český normalizační institut: *ČSN EN 206 – 1, Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*, Praha, 2001
- [3] Pytlík P.: *Technologie betonu*, VUT, Brno, 2. vydání, 2000, ISBN 80-214-1647-5.
- [4] <http://www.mar.cz> – Martek Elektronik s.r.o.
- [5] <http://www.csesro.cz> – CSE spol. s r.o.
- [6] <http://www.asterix.cz> – Asterix a.s.
- [7] <http://www.probet.cz> – Probet s.r.o.
- [8] Pavel Deutsch: *Řízení mísírny betonových směsí Říkov*, diplomová práce na ČVUT-FEL-Katedře řídicí techniky, 2003
- [9] Siemens: *Prezentace Profibus*, 12/2007, <http://www.siemens.cz/>
- [10] Siemens: *Prezentace Profinet*, 12/2007, <http://www.siemens.cz>
- [11] Siemens: *Prezentace Simatic ET200*, 12/2007, <http://www.siemens.cz>
- [12] Siemens: <http://www.automation.siemens.com/doconweb/> - web s dokumentacemi k produktům firmy Siemens
- [13] Petr Šaloun: *Programovací jazyk C pro zelenáče*, Praha, 2.vydání, 2003, ISBN 80-86330-08-7

Příloha A – Fotogalerie modelu:

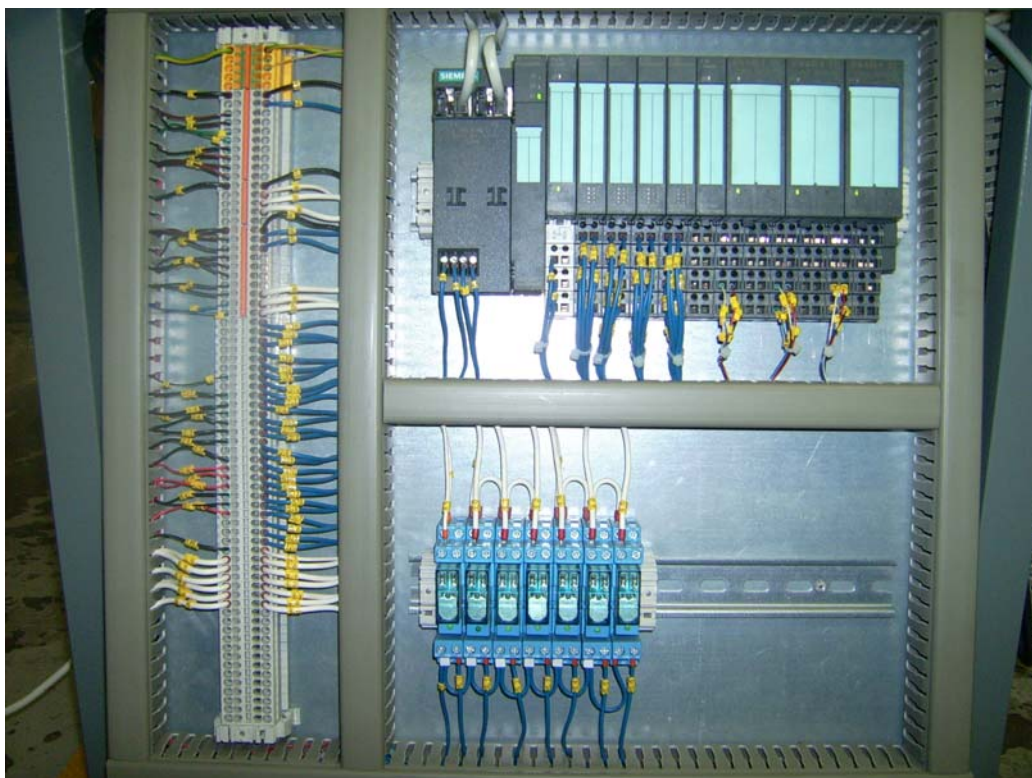
Obr. A1 – Rozvaděč na velíně



Obr. A2 – Cementová sila



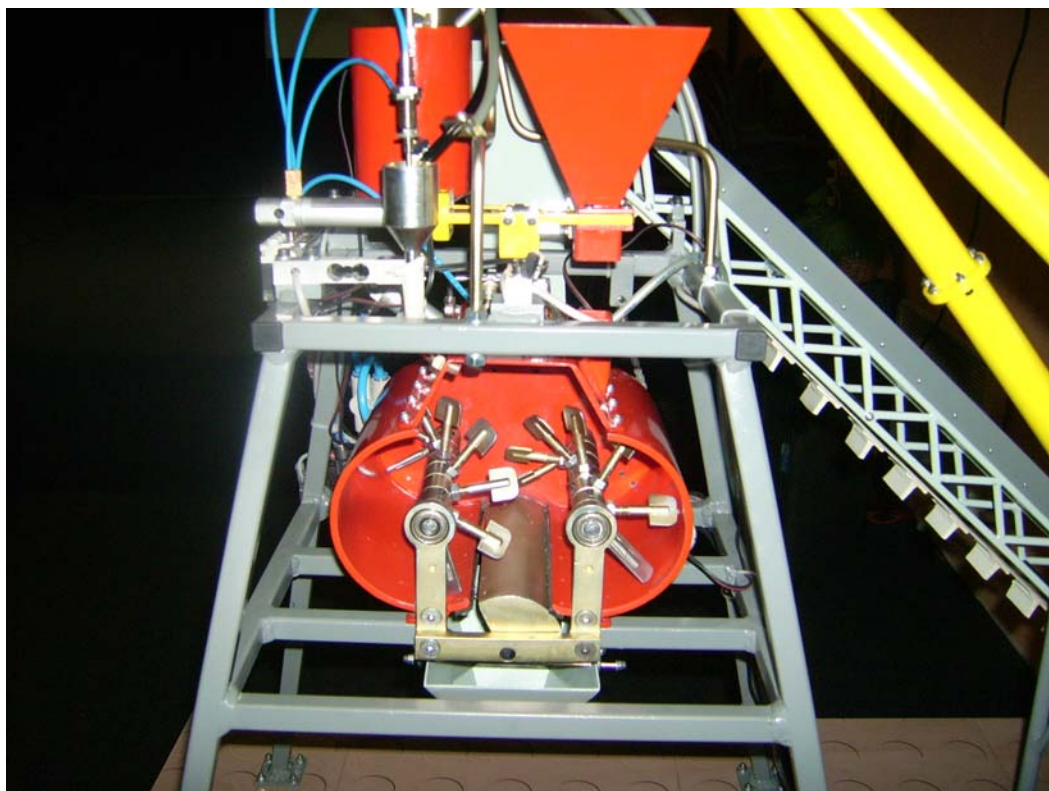
Obr. A3 – Kompresor



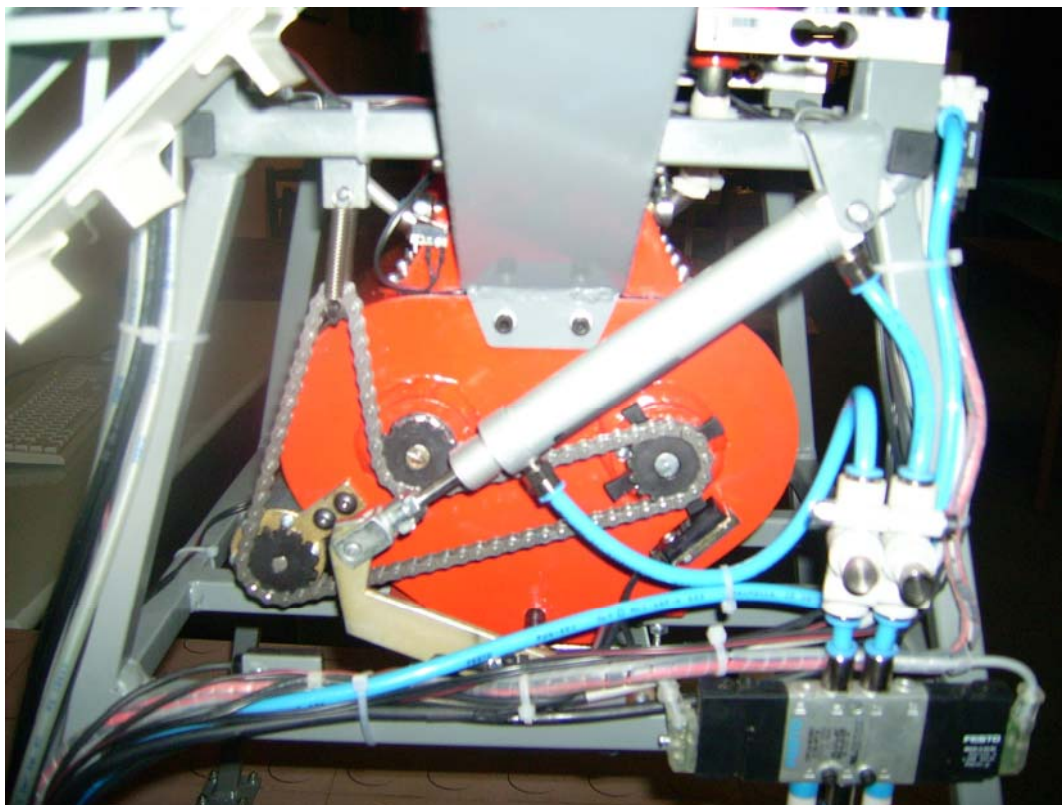
Obr. A4 – Rozvaděč na míchačce



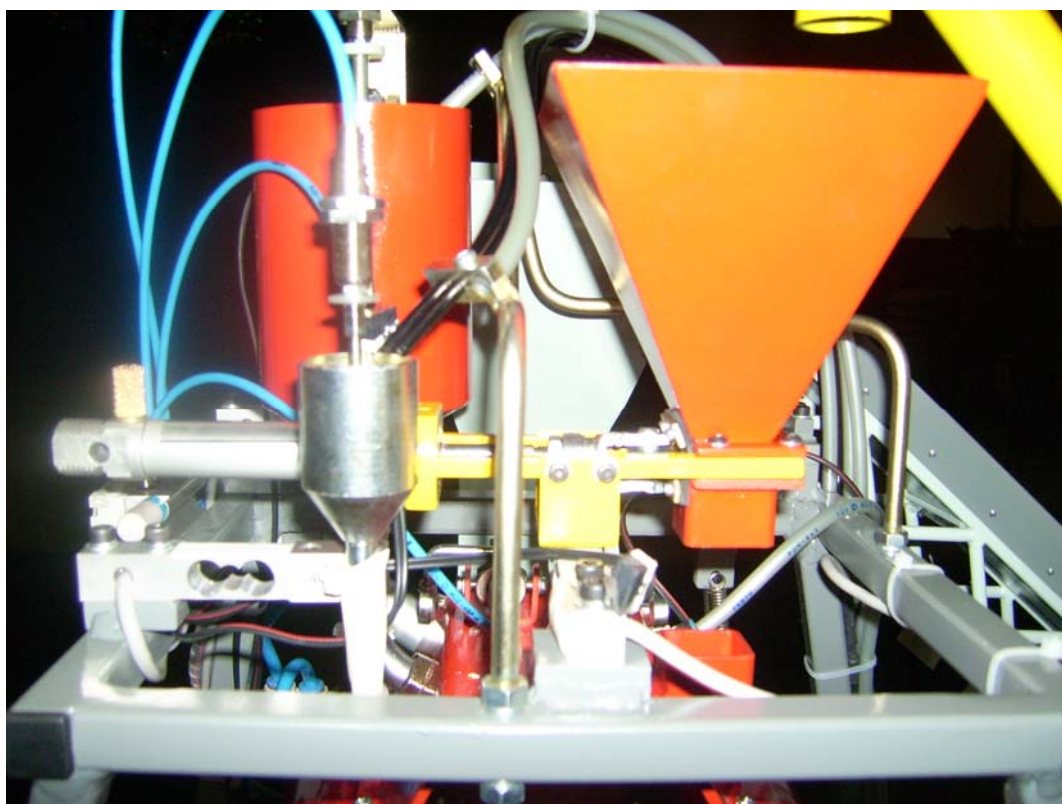
Obr. A5 – Ruční ovládací terminál na míchačce



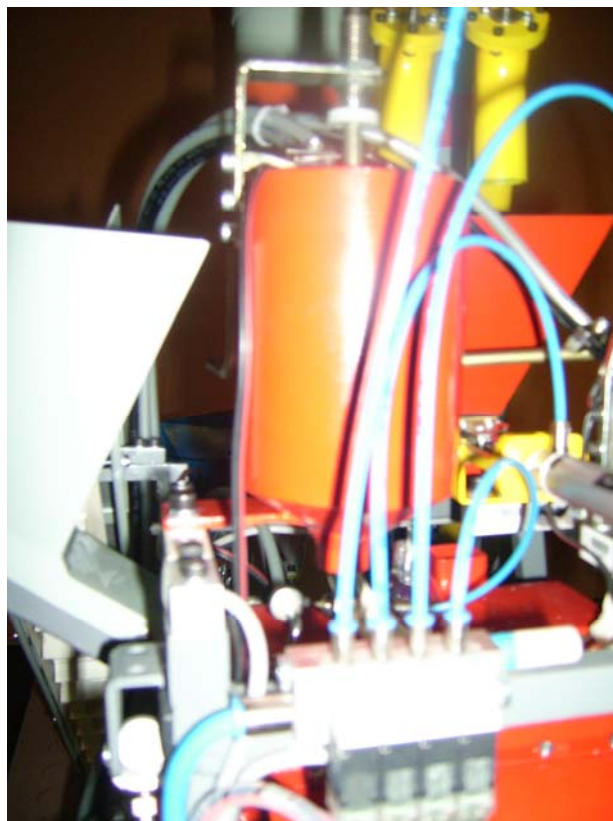
Obr. A6 – Přední pohled na míchačku



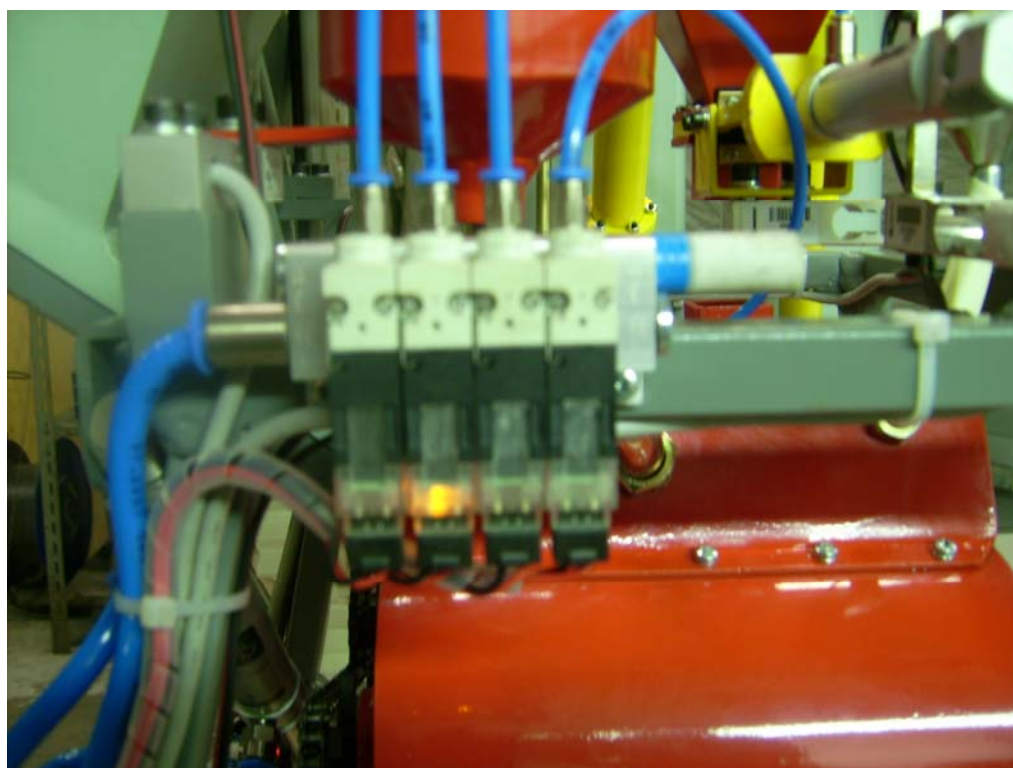
Obr. A7 – Zadní pohled na míchačku



Obr. A8 – Váhy cementu a přísad



Obr. A9 – Váhy vody



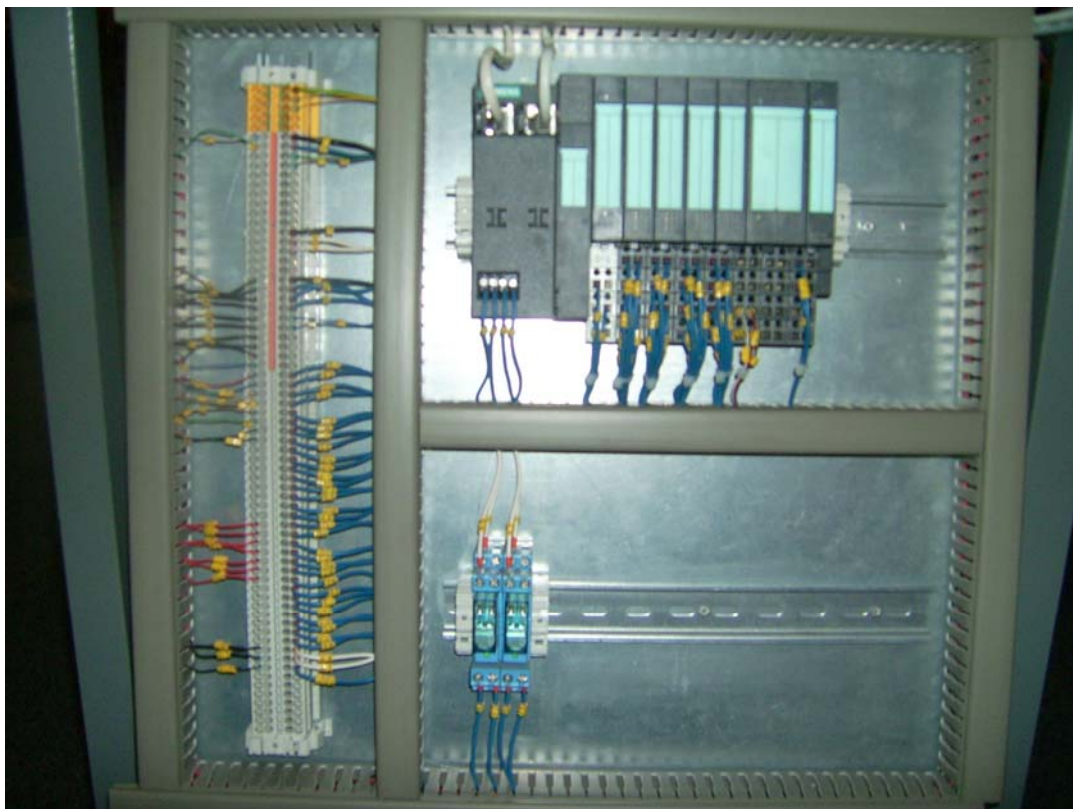
Obr. A10 – Pneumatický rozvaděč na míchačce



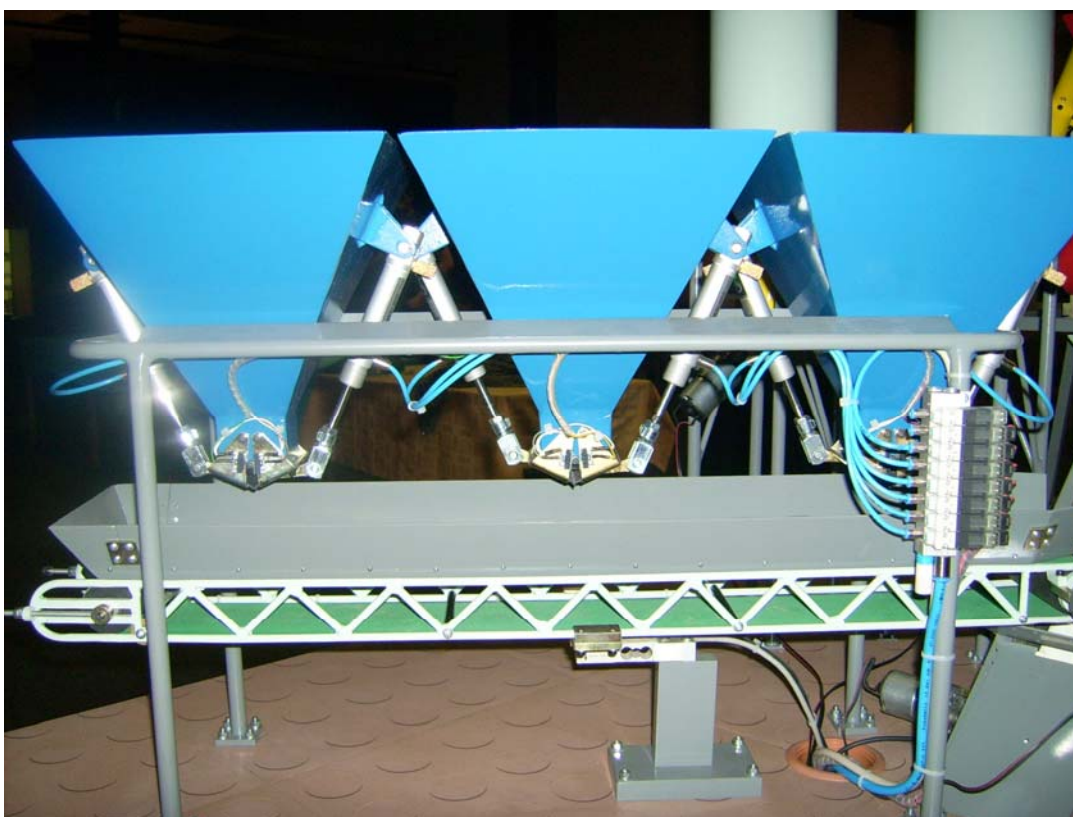
Obr. A11 – Vodárna modelu



Obr. A12 – Zásobníky vod a přísad



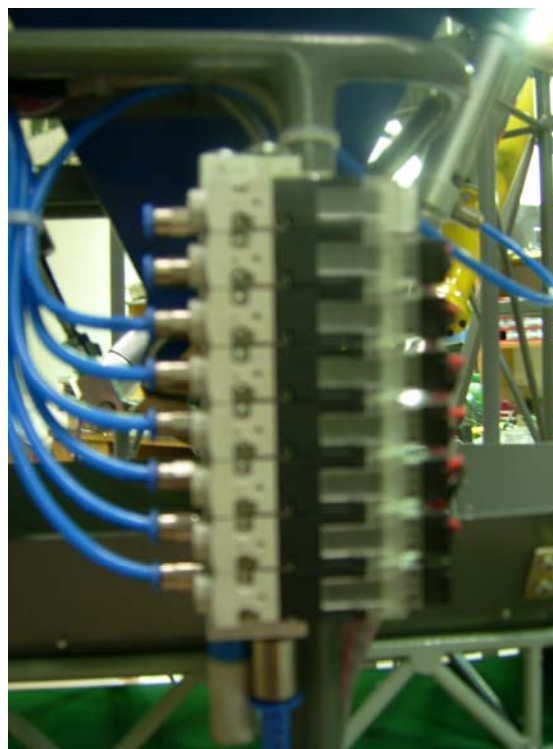
Obr. A13 – Rozvaděč ve vážicím voze



Obr. A14 – Vážicí vůz



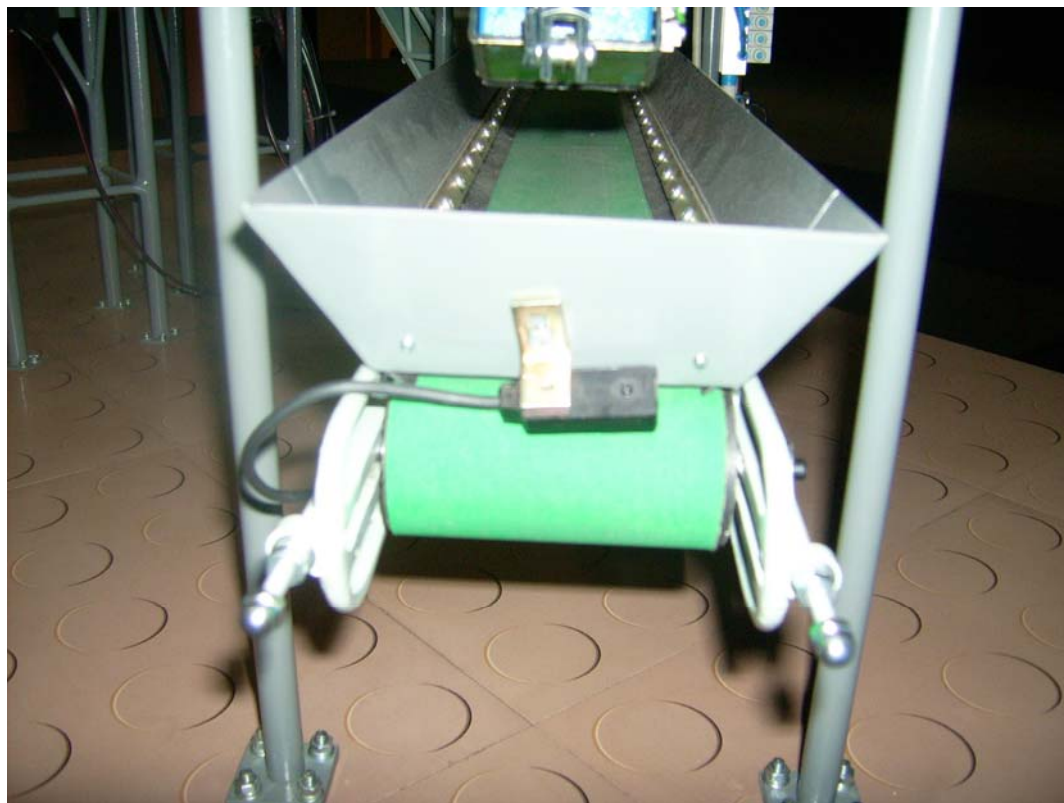
Obr. A15 – Dopravník do míchačky.



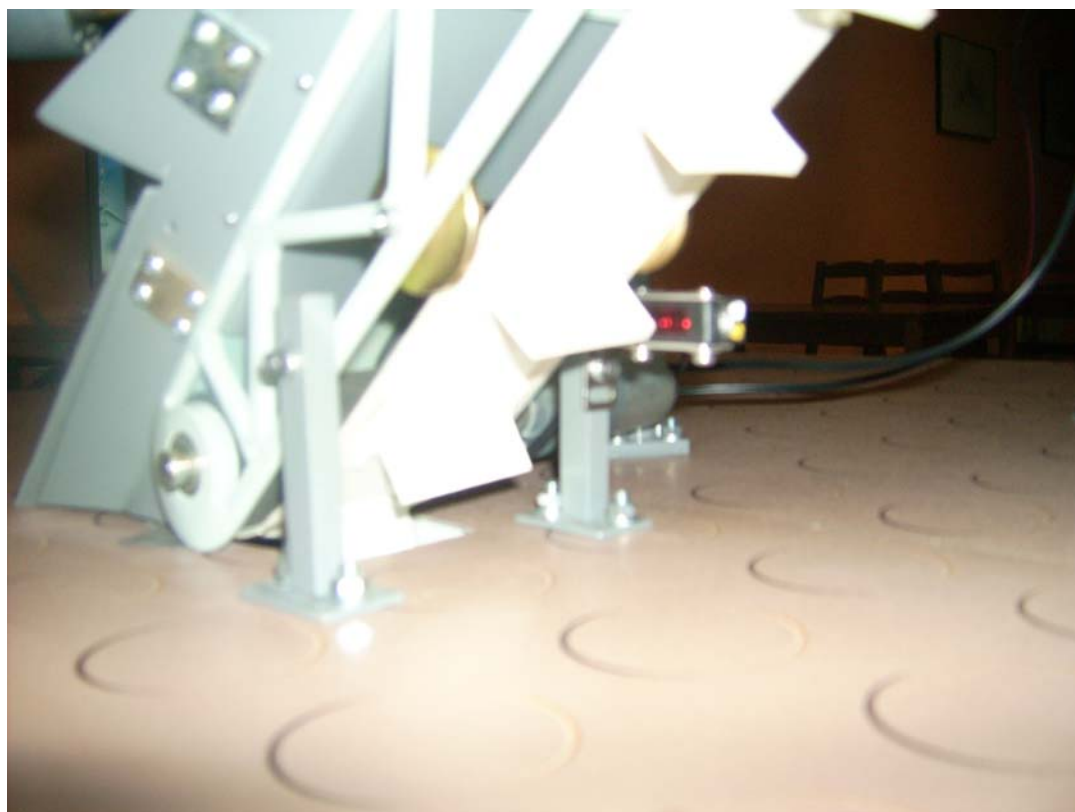
A16 – Pneumatický rozvaděč ve vážícím voze



Obr. A17 – Jeden ze zásobníků kameniva



Obr. A18 – Čidlo otáček vážícího vozu



Obr. A19 – Čidlo otáček pasu do míchačky