

VYUŽITÍ SIMULACE V OBLASTI RACIONALIZACE VÝROBNÍCH PROCESŮ A PROCESNÍHO PROPOČTU NÁKLADŮ

Ing. Kateřina Candrová; Doc. Ing. Jana Kleinová, CSc.; Ing. Milan Edl, PhD.;
Ing. Klekner Jiří

Západočeská univerzita v Plzni, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Anotace:

V současných turbulentních podmínkách na trhu zůstává řízení nákladů stále důležitou součástí podnikového systému řízení, protože hospodárnost představuje velice důležité kritérium konkurenční výhody. Dalším velmi podstatným termínem z oblasti výrobních systémů je efektivita, která může být velmi jednoduše vysvětlena jako snaha dosáhnout plánované příjmy/výstupy s minimem vynaložených nákladů. Hospodárnost a produktivita jsou tedy často skloňované výrazy, které je třeba neustále sledovat a vyhodnocovat, nejlépe pomocí řady ukazatelů. K tomu je potřeba zanalyzovat množství potřebných vstupů a výstupů, které nejsou vždy snadno zjistitelné. Pro zvýšení efektivitu práce (a to nejen) s těmito ukazateli je vhodné využít simulaci, která pomáhá identifikovat slabá místa v podniku, odstranit je a celkově tak zracionalizovat výrobní (i nevýrobní) procesy. V tomto článku je popsána možnost využití simulace v oblasti hodnocení výkonnosti procesů a dále je ukázána simulace reálné výroby pomocí dvou simulačních softwarových nástrojů – ARENA a AutoMod – včetně výsledků experimentů a možnostmi využití právě v oblasti racionalizace výroby.

Klíčová slova: Simulace výrobních systémů, produktivita, ABC analýza, náklady, výkonnost systému

1 HOSPODÁRNOST VE VÝROBNÍCH PODNICÍCH

Hospodárnost a produktivita jsou prakticky synonyma. Oba termíny označují účinnost, s jakou jsou používány prostředky k dosažení cílů. Pod pojmem hospodárnost a produktivita míníme vyžítání co možná nejvíce užítku z omezených disponibilních zdrojů. Hospodárnost je pak nutně pojem, související s hodnotami. Vždy má co dělat se vztahem hodnoty výstupu k hodnotě vstupu. Z toho vyplývá, že hospodárnost nějakého procesu se může měnit se změnami v hodnotách, a tak jakákoli změna jakékoli subjektivní preference může v zásadě změnit hospodárnost tohoto procesu. Z pohledu výrobních systémů je hospodárnost ovlivňována řadou faktorů, jako např.:

- Typ výroby
- Uspořádání výroby
- Použitá technologie
- Použité materiály
- Využití zdrojů, apod.

Je tedy zřejmé, že pro to, aby byly dosaženy stanovené cíle společnosti (nejčastěji zaměřené na minimalizaci nákladů, plýtvání, penalizace či maximalizaci využití kapacit zdrojů) je nutné provést řadu analýz. Ty si kladou za cíl nalézt vhodnou kombinaci nastavení jednotlivých parametrů výrobního systému tak, aby byly co nejvhodnějším způsobem naplněny (nejen ekonomické) cíle podniku. Vhodným přístupem, který umožní najít nejvhodnější nastavení systému za definovaných podmínek v relativně krátkém čase a s minimem nákladů (tedy umožňuje jeho racionalizaci) je počítačová simulace.

2 HODNOCENÍ VÝKONNOSTI VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ

Pokud mluvíme o produktivitě a výkonnosti procesů či systémů, je nutné zmínit pojem „ukazatelé výkonnosti“. Každý proces je totiž možné ohodnotit právě pomocí stanovených metrik jeho výkonu, které indikují, zda je proces realizován správně či nastala někde chyba. V případě výrobních systémů se ukazatelé, jejichž hodnoty se ve výrobních procesech snažíme vylepšit, vztahují ke čtyřem základním oblastem a to[1]:

- Struktura (materiálů, zakázek, zařízení, apod.)
- Produktivita (podle zakázek, pracovníků, činností, apod.)
- Hospodárnosti (výše nákladů na zakázky, dávky, apod.)
- Jakosti (průběh realizace zakázky, zásoby, obrátkovost, apod.).

Pro naši práci bylo nutné ukazatele ze všech těchto oblastí posoudit a rozlišit, které z těchto ukazatelů je možné vyčíslit pomocí výsledků simulačního experimentu – kdy tedy vstupní data jsou získána simulačním výpočtem. Počítačová simulace totiž představuje speciální oblast moderních informačních technologií, která stále více nachází své uplatnění v řadě praktických aplikací. Přínos tohoto nástroje spočívá zejména v možnostech predikce, ověřování předpokládaných jevů, v odhadu budoucího výskytu událostí či chování systému. Data získaná ze simulačních experimentů jsou pak využívána v řadě podnikových procesů (řídící, kontrolní, plánování atd.). Z pohledu tohoto příspěvku je velmi podstatná aplikace simulace právě v oblasti simulace **výrobních** systémů. Získané výstupy lze použít pro podporu rozhodování, tvorbu rozsáhlých analýz, zmapování výrobního potenciálu či prozkoumání budoucího vývoje systému za jiných podmínek než jsou ty současné (tzv. „what if“ analýzy). Zcela konkrétní výstup simulačního běhu pak představují data využitelná právě pro vyčíslení některých ukazatelů hodnocení výroby. V případě produktivity (která je v tomto článku akcentována) jsou to ukazatelé vyjadřující počet realizovaných činností ku počtu pracovníků či počet realizovaných činností k celkovému disponibilnímu časovému fondu. Velmi jednoduchým způsobem je také možné vyčíslit hodnoty ukazatele vytíženosti zdrojů (ve vyjádření: využitá kapacita ku celkové disponibilní kapacitě) či zmetkovitosti (množství zmetků ku celkovému objemu produkce) z oblasti ukazatelů jakosti. V tabulce je zobrazena ukáзка výstupu řady simulačních experimentů, na jejichž základě byly ukazatelé výkonnosti z uvedených oblastí roztříděny dle popsání logiky do tří skupin:

- A. Ukazatele, které je možné zcela vyčíslit pomocí výstupů získaných ze simulačního experimentu
- B. Ukazatele, které je možné částečně vyčíslit pomocí výstupů získaných ze simulačního experimentu (je tedy nutné rovněž dodat další data z jiných databází, podnikového informačního systému, apod.)
- C. Ukazatele, které nelze ani částečně vyčíslit a jsou nevhodné (typicky např. ROA, ROI, apod.).

Indicator	ARENA	QUEST
Production time	A – generated automatically	A – generated automatically
Transport time	A – all activities specified as Transport	A – counted according to length of route and speed of movement
Processing time	A – all activities specified as Value Added	B – it is necessary to recount total time
Waste time	A – all activities specified as Wait or user specified state	C – it is impossible to enumerate time on one entity
Personal costs	B – it is possible to obtain direct personal costs (with different tariffs assigned to one resource), not the bonuses or tax payments which are common in reality	B – analogous to situation in ARENA
Identification with product	B – it is necessary to define percentage of scrap level from particular machines (from technical specifications).	

Tab. 1 – Definování typu ukazatelů

Všechny popsané ukazatele byly zkoumány ve dvou softwarových nástrojích – ARENA i QUEST prostřednictvím řady referenčních modelů. Cílem experimentů bylo nejen zjistit, do které skupiny jednotlivé ukazatele patří, ale rovněž definovat způsob, jakým je nutné model vytvářet (tedy které moduly pro jeho tvorbu využít), aby bylo možné ukazatel vyčíslit v maximální možné míře. Na základě všech realizovaných experimentů byla tedy vytvořena tabulka (Tab. 1), jejíž ukázka je uvedena výše a dále bylo možné podrobně porovnat možnosti a „schopnosti“ obou využitých softwarových nástrojů a přesně vydefinovat oblast použití v oblasti simulace výrobních systémů, jejich racionalizace a hodnocení výkonnosti.

V následujících kapitolách jsou pak stručně popsány dva příklady reálných projektů řešených pro průmyslovou praxi, které si kladly za cíl racionalizovat a zefektivnit chování výrobního systému. Pomocí simulace bylo možné nejen podrobně zmapovat současný stav, ale také jej zanalyzovat, zformulovat doporučení a zejména zjistit dopad těchto navrhovaných změn na chování systému (tedy prozkoumat budoucí stav, který zohledňuje optimalizační opatření). Tím pádem bylo možné posoudit, zda navrhovaná racionalizace výrobních procesů je skutečně smysluplná, efektivní, jaké klady či zápory s sebou přináší a jakým způsobem se promítne do výše nákladů.

3 Projekt 1 – SIMULACE VÝROBNÍ LINKY VELKOSÉRIOVÉ VÝROBY

Projekt se zabýval simulací výrobní linky pro výrobu dvou typů výrobků. Pro každý z nich je definován výrobní postup, který zahrnuje sled pracovišť a odpovídající časy technologických operací. Výrobní systém jako celek sestává ze 13 pracovišť, z nichž každé je charakterizováno přidělenými zdroji (stroji, pracovníky). Pro každé pracoviště je pak dále definována míra zmetkovitosti příslušného stroje (vyjádřena procentuelně), počet alokovaných pracovníků a časy transferu uvnitř pracoviště.

Na základě velmi podrobné dekompozice pohybů výrobku v rámci jednotlivých pracovišť bylo definováno 5 stavů systému, pomocí kterých je možné detailně zmapovat chování systému v jednotlivých okamžicích výrobního cyklu. Ukázka výstupů pro takto definované stavy je uvedena v následující podkapitole.

Tvorba modelu, charakteristika použitého software

Model zkoumaného výrobního systému byl vytvořen prostřednictvím softwarového řešení ARENA, které představuje velice silný nástroj v oblasti simulace (nejen) výrobních systémů. ARENA je produktem společnosti Rockwell Software a sama o sobě je velmi efektivním nástrojem pro analýzy v oblasti podnikání, poskytování služeb či mapování průběhu obráběcích procesů a hmotně-energetických toků.

Díky implementované metodice ABC umožňuje ARENA kalkulační propočet nákladů v rámci simulačního experimentu. ARENU lze využít pro sledování nákladů v libovolném časovém intervalu a je tedy možné zachytit a zahrnout do kalkulace nákladů dynamický prvek skutečné výroby. Dokáže tak reálněji vypočítat celkové náklady s ohledem na neproduktivní časy, jakými jsou časy čekání, nehodnototvorných činností, časy prodloužení a další. Nejprve však bylo nutné rozklíčovat jednotlivé nákladové parametry, jejich charakter, význam a způsob, jakým jsou zohledněny v rámci implementované kalkulační techniky. Bylo tedy nutné vytvořit řadu simulačních modelů s různými hodnotami vstupních nákladových parametrů a pomocí výstupních reportů tyto parametry uvedeným způsobem nadefinovat. V následující tabulce je ukázán přehled nákladových parametrů vztahujících se k definovaným výrobkům (z pohledu modelu entitám) – jejich stručná charakteristika, předpokládaný datový formát a defaultní nastavení:

Nabízený atribut	Validní formát dat	Defaultní nastavení
Holding Cost/Hour = hodinové náklady na průchod entity systémem. Tyto náklady vznikají jakmile se entita nachází kdekoli v systému.	Real	0.0
Initial VA Cost = počáteční hodnota nákladů přiřazená atributu nákladů entity přidávajících hodnotu. Tento atribut akumuluje navyšování nákladů když entita tráví čas v aktivitě přidávající hodnotu.	Real	0.0
Initial NVA Cost = počáteční hodnota nákladů, která bude přiřazena atributu nákladů entity na činnosti nepřidávající hodnotu (non-value added). Tento atribut akumuluje náklady vzniklé pobytem entity v aktivitě nepřidávající hodnotu.	Real	0.0
Initial Waiting Cost = počáteční nákladová hodnota, která bude přiřazena nákladovému atributu entity na čekání. Tento atribut akumuluje náklady vzniklé pobytem entity v aktivitě označené jako čekání, např. čekání na obsazený zdroj, apod.	Real	0.0
Initial Transfer Cost = počáteční nákladová hodnota, která bude přiřazena atributu ostatních nákladů entity. Tento atribut akumuluje náklady vzniklé pobytem entity v aktivitách označených jako ostatní.	Real	0.0

Tab. 2 - Přehled parametrů výrobku

Obdobně byly charakterizovány nákladové parametry (Tab. 2) vztahující se ke zdrojům a rovněž byly dekomponovány jednotlivé nákladové položky výstupních reportů (celkové náklady, náklady přidané hodnoty, apod.) – jakým způsobem je lze zohlednit v systému, jakým způsobem jsou následně kalkulovány a tedy definovat jejich význam a případný ekvivalent v českém běžně používaném názvosloví (z oblasti financí, kalkulace nákladů).

Vstupní parametry modelu, cíle simulačních experimentů

Vstupní data projektu, jejichž hodnoty a vliv na chování systému jako celku byly v průběhu experimentů měněny a zkoumány, byly následující:

- Časy technologických operací (jejich maximální a minimální možné hodnoty)
- Časy pohybů a přejezdů v rámci pracoviště i v případě mezioperační přepravy
- Počet palet v systému, maximální kapacita jednotlivých segmentů
- Úroveň zmetkovitosti jednotlivých zdrojů
- Délka simulačního běhu a náběhu (časový interval nutný pro usazení systému).

Pro jednoduchý a rychlý způsob modifikace vstupních parametrů bylo vytvořeno grafické uživatelské rozhraní, které je umožňuje velmi elegantně modifikovat. Hodnoty nastavení systému jsou pak při zahájení simulačního experimentu uloženy do výstupních souborů a jsou součástí výsledných reportů. Zvolená data zjištěná experimentem jsou exportována do prostředí MS Excel a zpracována do podoby přehledných grafů či tabulek. Ty umožňují detailní analýzy využití zdrojů (přehled stavů, jejich poměr v průběhu směny, využití kapacity zdrojů, apod.), analýzy výrobků (výše zmetkovitosti), informace o výskytu palet v systému, atd. Analýza všech těchto výstupních hodnot může sloužit jako základ pro rozhodování, optimalizaci systému, plánování výroby či řešení a zavádění opatření pro ošetření úzkých míst.

Realizované experimenty, výsledná doporučení

Díky vytvořenému uživatelskému rozhraní bylo možné velice jednoduše nastavovat vstupní parametry systému pro jednotlivé experimenty. Kombinováním těchto parametrů bylo provedeno přes 90 experimentů. Na základě analýzy výstupních hodnot pak bylo možné potvrdit následující opatření a určit:

- kritické pracoviště a detailně zmapovat chování zdrojů i výrobků na tomto pracovišti. Na základě toho byla doporučena úprava pracoviště vedoucí ke zvýšení podílu produktivního stavu zdroje a zvýšení ukazatele průtoku systémem. Lze tedy v obou případech (tj. původní stav vs. navrhovaný) vyčíslit ukazatele produktivity systému ve vztahu k časové jednotce (za jednu směnu je vyrobeno větší množství výrobků) a porovnat jeho změnu.
- míru využití kapacity zdrojů ostatních pracovišť a podrobně vyčíslit procentuelní zastoupení jednotlivých stavů zdroje v rámci jeho disponibilní kapacity (např. podíl neproduktivního stavu zavážení na celkové kapacitě zdroje).
- snížení doporučeného množství přepravních palet v systému. Toto množství zajistí plynulost výrobního procesu (materiálových toků), avšak nedochází ke zbytečné alokaci nákladů. Tímto dojde ke zvýšení hodnoty ukazatele produktivity v oblasti vytížení zdrojů, kdy je při menším počtu dopravních zařízení vyroben stejný objem produkce.
- kapacitu pracovníka č. 1, jeho schopnost plně obsloužit dvě pracoviště, kdy byl určen interval pro přechod mezi jednotlivými pracovišti. Tímto opatřením dojde ke zvýšení hodnoty ukazatele produktivity systému v přepočtu na jednoho zaměstnance (stejný objem produkce vyrobí méně pracovníků) a zefektivnění systému jako celku (značná úspora nákladů).

Na základě uvedených zjištění je možné definovat takové nastavení systému, jež v maximální míře snižuje nákladovost a naopak zvyšuje hodnotu ukazatelů produktivity i výkonnosti výrobní linky (vše s ohledem na reálné hodnoty vstupních parametrů).

4 Projekt 2 – SIMULACE PODVĚSNÉHO DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU PROCESU BARVENÍ

Základním účelem dopravníkových systémů pro manipulaci s materiálem je přepravit správný materiál, na správné místo, ve správný čas, v požadovaném množství a kvalitě za správné náklady.

Modelování a simulace těchto systémů umožňuje splnit tyto cíle, určit slabé stránky či chování navrhovaného systému v čase. Model pak zohledňuje jednotlivé parametry pomocí logických vztahů mezi entitami a objekty reálného světa.

V příspěvku je popsána simulace uzavřené části reálného výrobního systému se všemi jeho interakcemi a komponenty. V simulované části výroby jsou realizovány procesy barvení a povrchových úprav kontejnerů. Vytvořený model tedy reprezentuje podvěsný dopravníkový systém s řadou definovaných pracovišť a zdrojů. Kromě mezioperační přepravy plní dopravník v některých částech rovněž funkci zásobníku. Zvláštností definovaného systému je využití podzemního výtahu pro přepravu materiálu z jedné výrobní haly do druhé pod povrchem silnice. Cílem simulačního běhu pak bylo nalezení možností a příležitostí pro optimalizaci výrobních a transportních procesů.

Tvorba modelu, charakteristika použitého softwarového nástroje

Model byl vytvořen pomocí softwarového nástroje AutoMod, který umožňuje tvorbu komplexních a detailních modelů pro analýzy a vývoj či kontrolu chování systému. AutoMod obsahuje velké množství předdefinovaných šablon pro tvorbu nejrůznějších logistických systémů (pásové či válečkové dopravníky, automatické vozíky, podvěsný dopravník, stropní jeřáby, různá kinematická zařízení, atd.) a to ve velké detailnosti definovaných parametrů.[3] Tyto šablony urychlují práci při tvorbě modelu a poskytují uživateli velmi rozsáhlé možnosti parametrizace a customizace. Velkou výhodou představuje fakt, že AutoMod je 3D simulační nástroj a tedy vytvářený model je paralelně generován v přehledném 3D zobrazení (což značně zvyšuje srozumitelnost modelu). Nevýhodou tohoto softwarového řešení je komplikovanější způsob implementace „života“ do systému, tedy přenesení logických vazeb, chování entit a zdrojů či různých omezení. Je nutné vytvořit programový kód využívající klíčové a předdefinované příkazy, což samo o sobě není intuitivní a využije určitý stupeň znalostí.

V popsaném případě byla před samotnou tvorbou modelu analyzována řada přístupů i postupů a vyzkoušena řada kombinací dopravníkových systémů. Výsledný model byl pak vytvořen jako jeden dopravníkový systém podvěsného dopravníku.

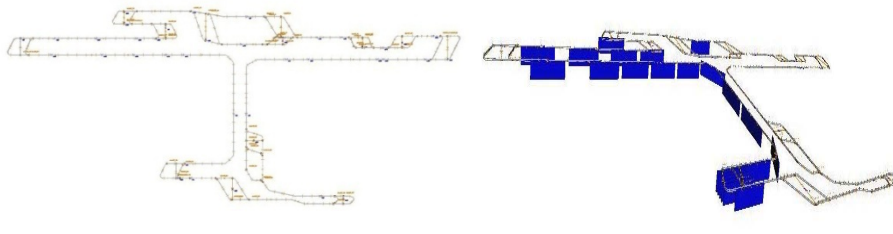
Vstupní parametry modelu, cíl simulačních experimentů

Pozice jednotlivých pracovišť i podoba logistických cest byla definována layoutem. Velmi specifickou část systému představuje podzemní výtah, který je omezen nosností. Pro nastavení systému pak byly podstatné následující parametry:

- Rychlost dopravníku a její případné změny pro jednotlivé segmenty
- Kapacita jednotlivých segmentů
- Rychlost výtahu, jeho rozměrové parametry
- Počet dopravních zařízení využívaných v systému

- Rozměrové parametry výrobku
- Délka simulačního běhu, warm up perioda.

Modelovaná část systému představuje uzavřenou smyčku, kde je výrobek dopravován z místa „nakládky“ definovanou trajektorií do místa „vykládky“. Výsledná podoba modelu je zobrazena na Obr. 1 (model je zachycen ve stavu tvorby a v průběhu simulačního běhu):



Obr. 1: Výsledná podoba vytvořeného modelu

Cílem simulačních experimentů bylo určit kapacitu systému v současném stavu, kapacitu systému v případě plné automatizace pracoviště ručního barvení, stanovení počtu výrobků v případě ideálních podmínek výrobního systému či stanovení délky produkčního cyklu.

Realizované experimenty, výsledná doporučení

Experimenty realizované nad vytvořeným modelem mohou být rozděleny do tří základních skupin:

1. Jednoduché experimenty zkoumající základní chování systému, které jsou charakterizovány deterministickými hodnotami a jejichž cílem bylo prozkoumání výkonnosti systému, délky cyklu a kapacitních limitů.
2. Experimenty zohledňující pravděpodobnost v době trvání některých operací přiblížily chování modelu reálnému systému.
3. Experimenty zkoumající optimalizační možnosti si kladly za cíl nalézt návrhy pro optimalizaci, restrukturalizaci a reorganizaci současného stavu a případně je ověřit.

Realizováním celé řady experimentů byly zjištěny následující skutečnosti:

- Limitující pracoviště systému představuje proces ručního barvení.
- Byla změřena současná hodnota výkonu systému při plném zatížení a při zohlednění poruchovosti či systému údržby strojů.
- Hodnota výkonu systému při plném zatížení (a při zohlednění poruchovosti či systému údržby strojů) pokud je kritické pracoviště nahrazeno plně automatickým strojem. V tomto případě dojde ke zvýšení ukazatelů produktivity v přepočtu na zaměstnance, ve vztahu k časové jednotce a dále se zvýší míra vytížení strojů a dopravních zařízení. Za stejný časový úsek bude totiž možné vyrobit větší objem produkce.
- Návrh na odstranění zbytečných bufferů a tím zkrácení přepravních časů. Tím dojde ke zvýšení využití dopravního zařízení a zkrácení produkčního cyklu.

5 ZÁVĚR

Jak vyplývá z článku, simulace je velmi silným nástrojem podporujícím racionalizaci výrobních či řídicích procesů a poskytuje cenná data využitelná pro podrobné analýzy, podporu rozhodování či optimalizaci procesů. Zcela konkrétně pak tyto data mohou pomoci při sledování a vyčíslení produktivity systému, umožňují hodnotit nejen současný stav, ale

také stav budoucí a tím posoudit vhodnost a účelnost racionalizačních aktivit. Simulace tedy umožňuje pozitivně ovlivnit vývoj produktivity podniku za cenu minimálních nákladů. Na popsáných příkladech byl uveden význam simulace v tomto směru pro podnikovou praxi, kdy v obou ukázkách bylo možné po realizaci simulačních experimentů poskytnout řadu doporučení (jež si kladla za cíl zvýšit efektivitu a produktivitu či snížit nákladovost), ale zejména ověřit si dopad těchto doporučení na chování systému a konkrétně vyčíslit /vydefinovat jejich přínosy např. pomocí zvýšení hodnot ukazatelů produktivity či vytížení zdrojů.

Poděkování:

Tento výzkum byl realizován jako součást řešení grantového projektu č.402/08/H051. Autoři tímto děkují Grantové Agentuře České republiky (GA CR) za poskytnutí finanční podpory.

Zdroje:

- [1] Trnková L., Bakalářská práce: Analýza ekonomických ukazatelů vhodných pro simulační modely, Západočeská univerzita v Plzni, 2008
- [2] Arena BASIC User's Guide, version 11.00.00 (2006), Publication ARENAB-UM001G-EN-P
- [3] Getting Started with AutoMod, Second Edition, Jerry Banks, Brooks Automation, USA

Kateřina Candrová, Ing.

Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

candrova@kpv.zcu.cz

Jiří Klekner, Ing.

Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

jklekner@kpv.zcu.cz

Jana Kleinová, Doc. Csc.

Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

kleinova@kpv.zcu.cz

Milan Edl, Ing. PhD.

Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Západočeská univerzita v Plzni

Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

edl@kpv.zcu.cz