



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Факултет за германско инженерно обучение и промишлен
мениджмънт

Докторантско училище

маг. инж. Томас Валтер Мюке

ИНФОРМАЦИОННА СИСТЕМАТИКА ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ПРОЦЕСИ НА КОНСТРУИРАНЕ И ЦИФРОВО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
„ДОКТОР“

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и
автоматика

Научна специалност: Автоматизирани системи за обработка на
информация и управление

Научен ръководител: доц. д-р инж. Васил Гълъбов

София, 2017 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от съвета на Докторантско училище към Факултет за германско инженерно обучение и промишлен мениджмънт на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 02.02.2017 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 19.05.2017 г. от 15:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-79 / 17.02.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Младен Милушев – председател
2. Доц. д-р Васил Гълъбов – научен секретар
3. Проф. д-р Живка Овчарова
4. Проф. д-р Христо Шехтов
5. Проф. д-р Чавдар Дамянов

Рецензенти:

1. Проф. д-р Младен Милушев
2. Проф. д-р Живка Овчарова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет за германско инженерно обучение и промишлен мениджмънт на ТУ-София, блок №10, кабинет № 10213.

Дисертантът е докторант на самостоятелна подготовка на докторантското училище на Факултета за германско инженерно обучение и промишлен мениджмънт на ТУ-София. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Томас Валтер Мюке

Заглавие: Информационна систематика за оптимизиране на процеси на конструиране и цифрово програмно управление

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Техническите и производствено-икономическите области за сега все още не са достатъчно добре взаимосвързани. Поради това от все по-голямо значение са инициативата „Industrie4.0“ и преминаващите през целия производствен процес нови техники на обвързване и Big-Data-Analysis (анализ на големи обеми данни), чрез които могат да се реализират цялостни оптимизации, които до този момент не се осъществяват поради липсваща или недостатъчна интеграция.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Цел на дисертацията е редуцирането на продуктовите и производствените разходи. Тук съществено е, че разходите се повлияват директно при планирането, тъй като така при производството са необходими по-малко напасвания и съответно се намаляват разходите за изменения. Въз основа на данните от машината в реално време, може посредством Big-Data-Analysis да се оптимизират методите на производство и режимът на рязане и така още на етапа „конструиране“ да се определят подходящите геометрични характеристики а при NC- програмирането да се използват „обработващи зависимости“ за да може и при малки серии производството да е икономически изгодно.

Научна новост

При предишни изследвания не е предлагана методика, която да разглежда цялостните (комплексните) аспекти от конструирането до производствената машина. Чрез обвързването и ново оценяване на данните се постига оптимизиране, което до сега беше възможно само чрез обстойни изпробвания и по тази причина неприложимо при малки серии.

Практическа приложимост

Чрез оптимизация при изработването на детайли може да се намалят продуктовите и производствените разходи. В тази насока например има директно запитване от фирма SAP SE, която работи в областта на оптимизацията чрез прилагането на автоматичен машинен анализ на данни. За постигането на оптимизиране на мощността - липсват методи, които в настоящата работа са дефинирани и валидирани, и които водят до обработка на данните в реално време, обвързване на отделните процеси и подобряване на асоциативността.

Валидизиране

Валидизирането е извършено в KIT-IMI на фрезмашина с инсталирани различни IT-системи и с разработени от докторанта Plug-In за отчитане на технологичните данни.

Публикации

Най-съществените постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в седем статии и доклади от конференции.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 194 страници, написана е на немски език, съдържа списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са 90 литературни източници, които са на латиница. Работата съдържа 119 броя фигури и 52 броя таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМА

Техническите и производствено-икономическите области днес не са мрежово взаимно обвързани. В рамките на традиционното инженерство, което играе важна роля в „**Индустрия 4.0**“, взаимно-обвързаността на информация в производствения процес е съществен фактор. Интелигентната обвързаност на данни води до технически и икономически предимства.

Чрез хоризонталната и вертикалната обвързаност на областите се постигат нови ефекти при една цялостна пълна оптимизация. При конструирането това представлява 70% от продуктовете разходи. При съвременните техники на свързване в мрежи става възможен достъп до информация за производствените ресурси още при CAD–системата, което дава възможност за намаляване на разходите.

Една технологична конструкция дава възможност за оптимизиране на процеса. Това може да стане още при работния план за една ERP–система и при калкулацията от 3D - модела при CAD.

На тази основа посредством AFR (**A**utomatic **F**eature **R**ecognition) могат да бъдат изготвени автоматизирани NC-програми за алтернативни машини. По този начин в производството се получава гъвкавост за да се редуцира продължителността на производствения цикъл.

Въз основа на машинните сигнали може чрез машинните интерфейси информацията да се връща обратно в системи от по високо ниво, и така да се осигурява постоянно подобряване чрез един PDCA-процес (plan–do–check–act) както в областта на логистиката, така и в техническата област. Чрез данните от машината се изгражда технологична база данни, която представлява основа за оптимизирането при конструирането, а също така и при NC-програмирането.

Цялостното обвързване в мрежи позволява един съществено подобрен процес от конструирането до производството. Дисертационният труд предлага съответна методика за оптимизиране на данните от машината чрез Big DATA.

Представени са ефектите, въз основата на данните в реално време от различните системи в рамките на отчитането и визуализирането, така че човек да бъде подкрепен от тези данни (в реално време) при намиране на дадено решение. Описано е също така и значението на сътрудниците в цялата верига, които в бъдеще ще бъдат усилено подпомогнати чрез мобилни приложения.

На базата на анализ на данните могат да бъдат представени обстойни подобрения, като чрез данните в реално време допълнително се постига редуциране на поддръжката на данните чрез самооптимизиращи се функции. В механичното производство това води също така до намаляване на разходите за обработващи инструменти и до подобро производство на група типови детайли в производствената област, което от своя страна има влияние върху разходните структури.

Тази дисертация, която е изготвена в сътрудничество на Института за информационен мениджмънт в инженерството (ИМИ) на Карлсруйския Технологичния Институт (КИТ) и на Факултета за германско инженерно обучение и промишлен мениджмънт (ФАГИОПМ) на ТУ - София, представя ефектите при процесите на рязане. Това бе оценено чрез една референтна инсталация на КИТ-ИМИ. На базата на технологични данни в реално време от металообработващата машина се постига оптимизация.

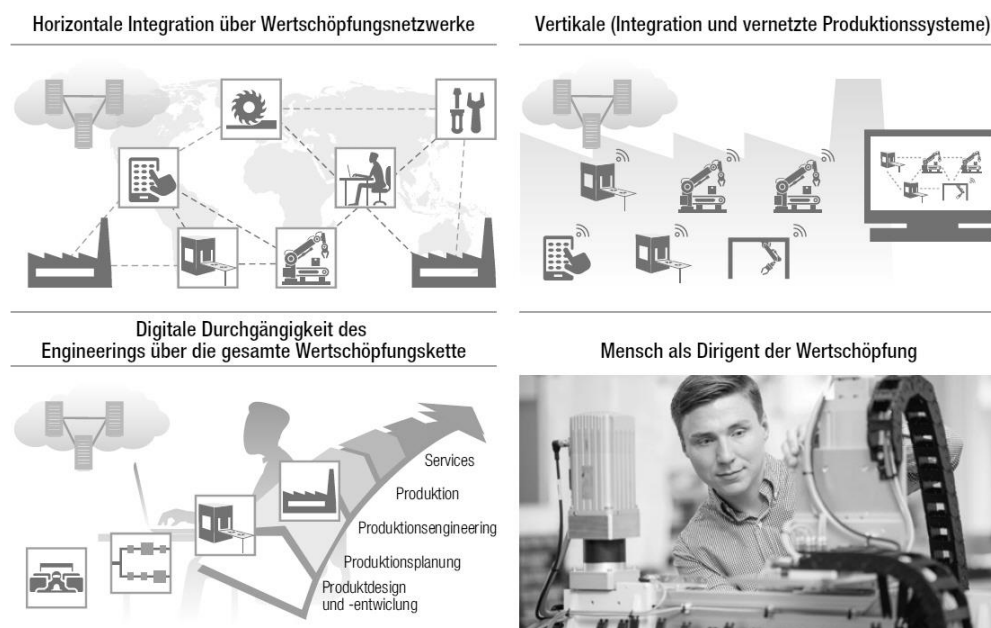
За да може в цялостния процес да бъдат по-ефективно интегрирани продуктивните и непродуктивните области (създаващи добавени стойност и несъздаващи добавени стойност области), за да бъдат постигнати необходимите икономии на разходи, основна точка на дисертацията е свързването в мрежа. Показано е какви ефекти възникват въз основа на технологичните данни от информации за производствените средства и как оптимизирано се включват информации от производствените области в процеса на планиране. По този начин се осъществява постоянен процес на подобряване на продуктите, което има пряко влияние върху продуктите и производствени разходи.

1. Въведение

За да бъдат оптимизирани процесите е необходимо да се вземат под внимание техническите и промишлено-икономическите аспекти. Хоризонталната интеграция представя начинът на оптимизиране чрез веригата за добавяне на стойност, като основата за това е вертикалната интеграция. Процесите трябва да бъдат интегрирани с долу посочените системи и техните потребители.

- Промислено-икономически процеси
 - ERP, HR
 - Технически процеси
 - PLM, CAD, CAM, NC
 - Производствено-технически процеси
 - MES (Manufacturing execution systems), BI (Business intelligence), QM
- Инициативата „индустрия 4.0“ подкрепя процеса.

В документа за приложната стратегия „индустрия 4.0“ [UMS-1] са представени областите, които тази стратегия обхваща, което е показано на фигура 2.



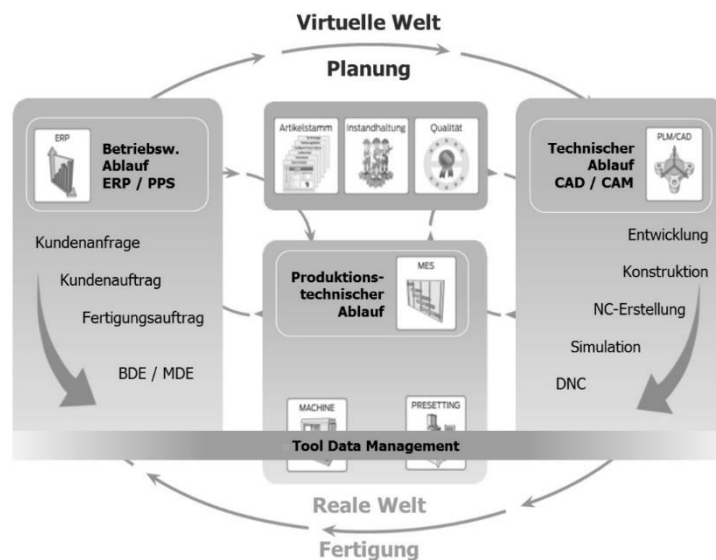
Фигура 2: Аспекти на „индустрия 4.0“ на основата на стратегията за прилагане/ приложение

Тук са взети под внимание следните аспекти:

- Аспект 1: хоризонтална интеграция чрез мрежи на създаващите стойност области; това включва свързването на различни отдели
- Аспект 2: вертикална интеграция; това включва обмена на информация в рамките на една фабрика; от машината до по-висши нива на предприятието
- Аспект 3: Неблокираност на инженерството; също така и на жизнения цикъл на един продукт
- Аспект 4: Човекът като диригент във веригата на създаващите стойност области, той може да взема ефективно решения въз основа на данните на мината в реално време.

Интеграциите свързват различни области чрез вертикална и хоризонтална интеграция.

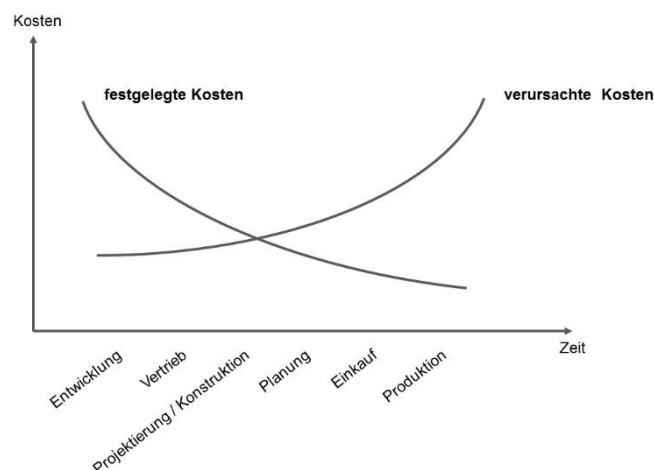
Работата показва как чрез информация за производствените средства могат да бъдат оптимизирани цялостни процеси, понеже от техническа и от търговска гледна точка тези данни се използват навсякъде. Разходите за обработващи инструменти отнесени към детайлите са пренебрежимо малки, но отнесени към веригата на цялостния процес те могат да имат огромни влияния. Това е показано на следната графика (фигура 3) [MUECK-3]. Тук е представено свързването на областите ERP, PLM и MES, като информацията за инструментите е необходима във всички области на жизнения цикъл на детайлите.



Фигура 3: принципно необходимото свързване на различните области

Чрез интеграцията възникват нови ефекти, защото така на извора (разработването) детайлите може да се създадат в съответствие с технологиите (технологичност), чрез което възникват нови потенциали за икономии.

При това се постигат първите ефекти в разработките/конструирването. В общото машиностроене конструкцията определя около 70% от разходите на едно изделие. **Heimsoth** показва как разходите на едно изделие нарастват във времето. Така се изяснява и значението на конструкцията за успеха на предприятието, тъй като модифицирането в последващите функционални области води до разходи за изменения. При това разходите нарастват потенциално спрямо веригите на продуктивните области, респективно спрямо напредъка в продуктивните области, както се вижда от фиг.4.



Фигура 4: Определяне на производствените разходи според Heimsoth

Въз основа на оптимизирането при конструирването и NC-програмиране може да се редуцират времената в производството.

При това за методите за оптимизиране се използват традиционните пресмятания на основните видове времена според REFA.

Въз основа на определянето на големината на сериите при ERP-системата чрез MRPII е необходимо, особено при малките серии, да се редуцира подготвително-заклучителното време. То също се взема под внимание при методиката, за да се има предвид при свързаните с разхода отрицателни влияния.

При това пресмятанията на предварително зададените времена се подразделят въз основа на детайлираните времена: „подготвително-заклучително време, „основни работни времена на машините”, „основни времена” и т.н. за да може да се подготвят подобрените основни стойности. За да е възможно всичко това, всяка NC-операция се обвързва както със задачата на технологичния процес, така и с включване на технологичното използване на обработващите инструменти.

На тази основа се определят оптималните параметри на процесите и технологиите от машината и съответните архивни данни като се вземат под внимание времетраенето/продължителността на производствения цикъл, подготвително-заклучителните времена, данните за качеството, енергийните разходи, разходите за инструменти и съответните времена за производство.

Въз основа на технологичната база данни и на информацията от производството може още при конструирането и при едно дискретно производство чрез 3D-анализ на конструктивните елементи да се изготвят предварителни пресмятания и производствен график.

2. Цели / Предизвикателства / Проблеми

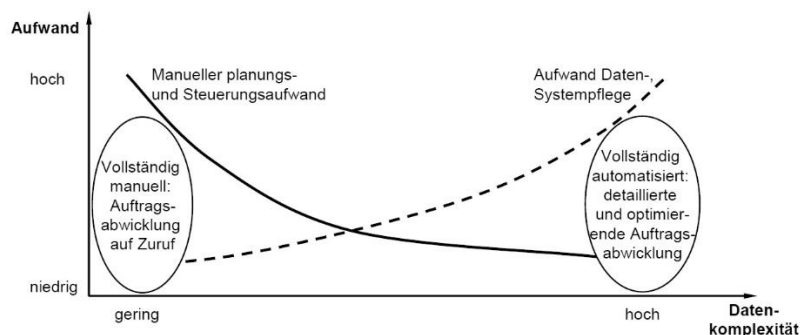
2.1.Обобщение

Когато процесите не са добре взаимоотнобвързани се наблюдават значителни слаби места.

Отделните области в днешно време са отчасти взаимосвързани, но често няма достъп до необходимите данни, понеже те не са налични в съответните системи за крайните потребители.

Тъй като в днешно време разходът по поддръжката е относително голям, както е показано на фиг.8, много често планирането се провежда съобразно персоналните усещания и знания. Все пак, ако можем да осъществим една по-силна вертикална и хоризонтална интеграция съществено ще се намали разходът за поддръжка на данните, ще се реализира автоматизирано и оптимизирано протичане на процеса.

Bornhäuser показва от една страна, че основните данни и данните на движенията имат лошо качество. Причините най-често са недобрите обвързаности с IT-системите и организационни слабости [BORN-1].От друга страна липсва регулиращ контур за обработване на обратната връзка. **Оптимизирането на обратната връзка, за да се постигнат търсени ефекти в техническата област, е основната тема на настоящата работа.**



Фигура 8: Зона на конфликт - връзка между поддръжката на данни и поддръжката на системи съгласно Bornhäuser

Thieme представя проблемите и важните теми на бъдещето в едно проучване, което се базира на съвременните гледни точки за отделните бизнес-процеси, при което планирането представлява основата за оптимизирането.

Тук той показва, че големите потенциали за подобрене са в планирането и администрирането. Когато планирането се оптимизира, възникват съответните ефекти в производството. Не е достатъчно да се повиши ефективността в производството, тъй като административните области имат голямо влияние върху продуктивността на предприятието. Днес в административните области често има лошо съгласувани процеси.

Въз основа на много проучвания на различни съоръжения се показва, че производствено ориентирани дейности стават по-малко, а административните дейности се увеличават и стават все по-значими. При редуцирането на производствените капацитети от организационна гледна точка е крайно необходимо всички процеси да станат по-ефикасни.

Така могат да се разглеждат огромни потенциали в административните области. Това започва преди всичко с повишаването на производителността в областите: конструиране, закупуване (доставка), планирането на производството, управление. Тези подобрения (също продуктово-технологични) имат допълнително пряко влияние върху производството, т.е. чрез интеграциите и техните оптимизирани данни се предизвикват подобрения в производството. Така в производството възникват ефекти за редуциране на подготвително-заключителни времена **n**, оптимизиране на продължителността на производствения цикъл и т.н., на основата на интегрирано планиране чрез данни от производството.

2.2 Цели

2.2.1 Актуални цели / Обобщение

Според **Mücke** чрез свързването могат да бъдат постигнати следните ефекти в отделните области:

От таблица 2 се вижда, че оптимизирането на данните чрез **DATA Analytic** ще бъде една от основните точки за цялостно оптимизиране.

Област	Мярка	Ефекти
Продажби	Редуциране на продължителността на производствения цикъл	По-бърза доставка до пазара
Конструиране	Съкращаване на времето за намиране на решение	Повишаване на производителността
	CAD-модели, съобразени с производството (технологични)	Редуциране на производствените разходи
	Създаване на предварителна сметка	Наблюдение на разходите, бързо изготвяне на оферта
	Изготвяне на работен план от CAD	Редуциране на усилията по подготовка на работата
	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите
NC-програмиране	автоматизирано NC-изготвяне	Повишаване на печалбата
	Изготвяне на NC-програми за алтернативни машини	Подобряване на гъвкавостта в производството
	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите
Снабдяване	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите
Подготовка на работата	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите
Управление на производството	Гъвкаво изпълнение на поръчката	Редуциране на продължителността на производствения цикъл
	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите
Производство	Редуциране на времето на престой на машината	По-добро използване на машината, редуциране на часовата ставка на машината
	Повишаване на гъвкавостта	По-бърза доставка
	Редуциране на продължителността на производствения цикъл	Редуциране на компонентите, редуциране на големината на сериите
	Оптимизиране на данни от производствения процес	Непрекъснато подобрене и редуциране на разходите

Таблица 2 Извадка – Цели и ефекти

Тук става ясно, че сега не се вземат под внимание технологичните ефекти, така че в техническата област няма процес на подобрене и базите данни за техническите процеси са в повечето случаи лоши [MUECK-2]. Така в бъдеще основно трябва да се проверява кои системи са необходими, тъй като чрез свързването в мрежа необходимите данни евентуално ще бъдат поставени в оперативните системи и ще има линкове към данните за системите за управление, за да може навсякъде необходимата информация да бъде на разположение. По този начин автоматично ще се редуцира работата разхода по поддръжката.

За да се постигнат целите за постоянно редуциране на разходите за изделията и на производствените разходи при малки серии, бяха направени преди всичко следните реализации на KIT-IMI.

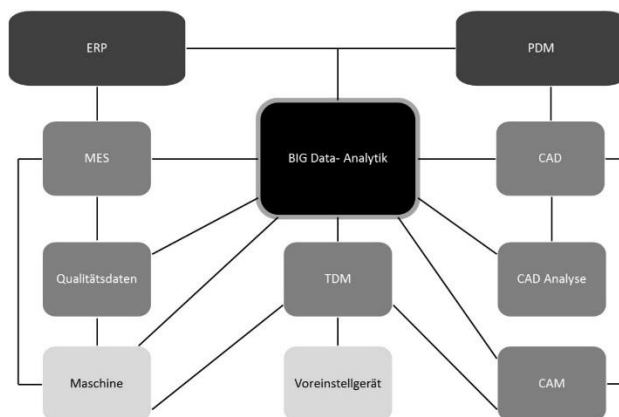
- Възвръщане на технологичните данни в реално време от производството
 - Оптимизиране на данните чрез Big-Data-Analysis
- Директна визуализация във важни за процесите системи, като CAD и CAM с цел контрол и онагледяване, за да се оптимизират геометрично и технологично конструктивните елементи, за да се постигнат постоянно редукции на разходите.

Така чрез данните в реално време и събраните минали данни, въз основа на технологичната информация от металообработващите машини ефектите могат да бъдат постигнати като при малки серии това става директно постигнати, а при голямата серия - чрез опити. Валидиранията показаха, че оптимизирането на детайлите при планирането (конструирането) води до устойчиво намаляване на разходите чрез оптимизирани подобрения на основното технологично време и на спомагателното време в NC-програмирането чрез данните в реално време от производството.

3. Оптимизационна концепция / Методика

3.1 Цялостна концепция

Между другото, при цялостния процес, както това беше осъществено в KIT-IMI, данните от машината се връщат на ниво планиране, както е показано на фиг.41. Това води до повишено качество на данните и съответните подобрения на процесите.

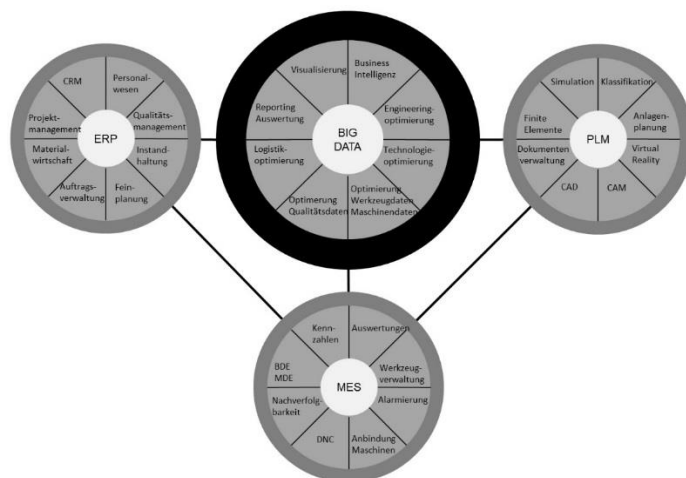


Фигура 41: основна обща интеграция в KIT-IMI, съгласно Mücke

Схематичният строеж е грубо представен на графиката, при което се вижда, че Big-Data-Analysis представлява съществена компонента при свързването в мрежа. Анализът води до процес на подобрение в областта на планирането чрез свързването на данните от различни източници и така чрез поетапното прилагане на „Engineering“ се постига постоянно редуциране на разходите за продуктите и за производството.

На фиг.42 се вижда, че свързването и анализът на данните са значим ключ, за да се постигат подобрения с продължителен ефект [MUECK-6]. От второстепенно значение е къде са запазени данните, понеже те трябва да бъдат на разположение в производствените и технически необходимите системи.

Свързването на децентрализираните системи ще се осъществи в бъдеще съгласно актуалното състояние чрез съответните IoT-платформи, които свързват главните системи и субсистемите, така че крайният потребител да има достъп до една обща повърхност, съответно до IT-портал.



Фигура 42: необходимо свързване за стабилно оптимизиране съгласно Mücke

3.1.1. Разходно-оптимална трайност на инструмента за NC-операция

За разходно-оптималното пресмятане на трайността на инструмента трябва да бъде дефиниран факторът „трайност на инструмента“. По принцип той се установява емпирично.

Използва се методиката на анализ на данните; за да може да се избегнат емпирични изчисления. Трайност на инструмента - T се определя чрез информация за време на машината; скоростта на рязане v_c също се сема от машината. Определянето на константите на трайност на инструмента k се осъществява чрез статистически определения въз основа на стойностите на данните, които се изчисляват приблизително чрез експоненциалната функция на T и v_c .

Така от наличните данни на машината в реално време може да се установи константата на трайност на инструмента k .

Основни методи за установяване на трайността на инструмента :

Трайността на инструмента може да бъде получено от машината по няколко метода. Обичайните методи са представени на фигура 69[DIETL-1]:



Фигура 69: Мониторинг на инструментите съгласно Dietl

За тези разглеждания са необходими сензори, респективно допълнителни системи към металообработващите машини. Тези данни от системи за наблюдение могат да бъдат използвани за определяне на константите на трайност на инструмента.

Известни са решения на фирми, като например:

- Komet Group GmbH
- Prometec GmbH
- IBS Precision Engineering BV

За да може решението да се използва за налични инсталации с обичайните NC-управления, времето на ефективна работа се запаметява в управлението. Това е финансово най-изгодният вариант, който може да бъде приложен без допълнителни методи на наблюдение.

Като правило това е възможно при традиционните производители на управления, например в Sinumeric-Steuerungen 840Dsl на Siemens [SIE-1].

Наблюдават се предимно следните:

- Времена на въздействие
- Граници за ранно предупреждение

За да може да се проведе оптимизирането трябва освен трайността на инструмента да се отчете и скоростта на рязане на машината. Понеже константата на трайност на инструмента зависи предимно от скоростта на рязане и от материала на инструмента, чрез оптимизирания избор на скорост на рязане се избягват негативни въздействия от ръчни корекции на машината при различни обслужващи.

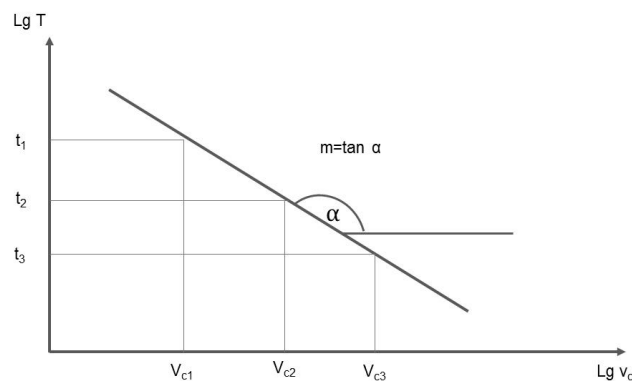
Субективната ръчна промяна на скоростта на рязане влияе върху трайността на инструмента. Така точността на правите изобразяващи трайността на инструмента по-скоро се подобрява при различните машинните оператори и техните методи на действие.

След като трайността на даден инструмент по принцип е достатъчна за повече от една NC-операции, трябва да се установят скоростите на рязане за дефиниране на конкретния набор от данни. За тази цел се вземат под внимание наборите от данни за идентични машини, технологии, инструменти и материали.

Затова, опростено въз основа на отношението между трайността на инструмента и стойността на рязане се установяват средната трайност на инструмента и средната скорост на рязане (виж табл 9.)

$$v_c = \sum_{k=0}^n \frac{\sum T_n}{T_n} \cdot v_{cn} \quad (4.9.2.1)$$

Установяване на константите на трайност на инструмента съгласно Taylor, както е показано на фигура 70 съгласно [GARANT-1].



Фигура 70: Установяване на трайността на инструмента съгласно наръчника на Garant за стружкоотемане

Тук на правите на Taylor съответно се поставят стойностите от Big-Data-Analysis. Наборите от данни се вземат под внимание при следните критерии:

- Идентични номера на инструменти
- Идентичен технологичен клас
- Идентична машина
- Идентичен материал
- Липса на брак (BDE-известие)
- Липса на съобщения за смущения по време на NC-операцията

Данни от машината:

- $Lg T$, $Lg V_c$
- n = брой на параметрите

Регресионен метод

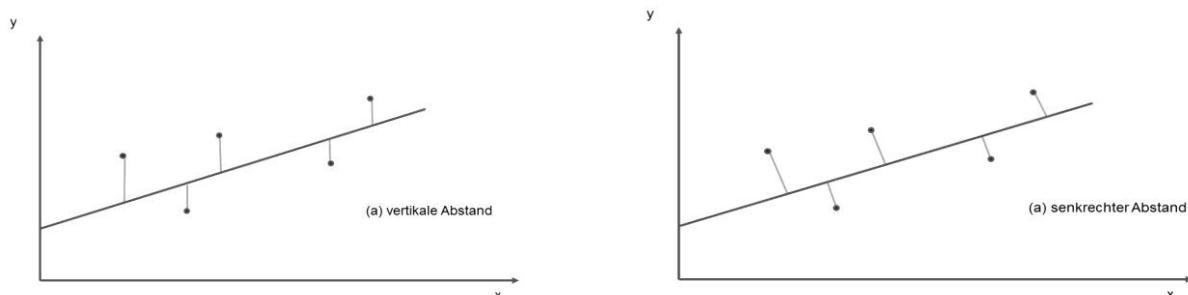
Данните се установяват чрез регресионна права, както е показано на фигура 71 и фигура 72 от [KREY-1].

Чрез регресионния метод могат да бъдат установени насочени хипотези, така че регресионният метод се използва също и за други фактори. Тук се вземат под внимание следните:

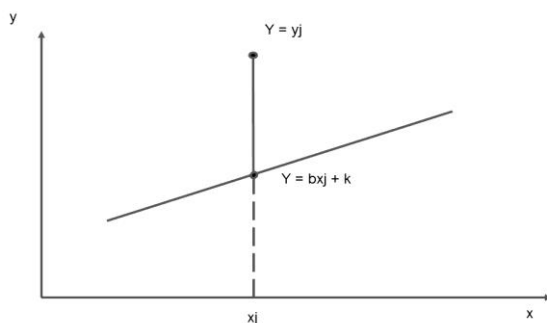
- връзки на данните в X и Y
- прогноза и оценка на стойностите на Y , като се взема под внимание X
- разсейване на стойностите на Y , като се взема под внимание X

Това означава също, че резултатът става по-добър с повишаване на връзката между стойностите. На тази основа се изгражда технологична база данни.

Регресионната права образува едно добро приспособяване към облака от точки на основата на метода на Гаус на най-малките квадрати.



Фигура 71: Разстояние между дадени точки от една права съгласно Kreyszig



Фигура 72: Изчисление на вертикалното разстояние съгласно Kreyszig

Най-общо трябва да се вземат под внимание следните формули:

Регресионна права: $y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$ (4.9.2.2)

Регресионен коефициент: $b = \frac{S_{xy}}{S_1^2}$ (4.9.2.3)

Ковариантност: $S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})$ (4.9.2.4)

Отнесено към определянето на наклона се получава следното:

Образува се сумата от логаритъма на v_c и сумата от логаритъма на T .

$$\sum x_n = \sum \lg v_{cn} \quad (4.9.2.5)$$

$$\sum y_n = \sum \lg T_n \quad (4.9.2.6)$$

След това се изчислява средната стойност.

$$\bar{x} = \text{средната стойност} = \lg v_c = \frac{\sum \lg v_{cn}}{n} \quad (4.9.2.7)$$

$$\bar{y} = \text{средната стойност} = \lg T = \frac{\sum \lg T_n}{n} \quad (4.9.2.8)$$

След това спомагателните стойности за установяване на ковариантността

$$H_1 = \sum \lg v_{cn}^2 \quad (4.9.2.9)$$

$$H_2 = \sum \lg v_{cn} \cdot T_n \quad (4.9.2.10)$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1} \cdot (H_1 - \frac{\sum x_n^2}{n}) \quad (4.9.2.11)$$

$$S_{xy} = \frac{1}{n-1} (H_2 - \frac{\sum x_n \cdot \sum y_n}{n}) \quad (4.9.2.12)$$

Следва регресионният коефициент

$$b = \frac{S_{xy}}{S_1^2} = \tan \alpha \quad (4.9.2.13)$$

Константа

$$k = \tan(180 - (\tan \alpha)) \quad (4.9.2.14)$$

Това се представя графично в Big-Data-Analysis.

Разходно-оптимална трайност на инструмента

Тук се използва изчисленияят фактор k от (4.9.2.14).

Разходно оптималната трайност на инструмента се изчислява по следната формула:

$$T_{ok} = -(k+1) \cdot (t_w + \frac{K_{wcut}}{K_{ML}}) \quad (4.9.2.15)$$

Разходно-оптималната трайност на инструмента сега може да бъде взета под внимание в планирането с WZ-управлението и с местата за обмен на данни към CAD/CAM и към логистиката.

3.1.2 Разходно оптимална скорост на рязане при NC-операция

Разходно оптималната скорост на рязане може да бъде опростено изчислена съгласно *Meins* на основата на трайността на инструмента. Чрез уравнението съгласно *[FERT-1]* може да бъде изчислена оптималната скорост на рязане:

$$V_{c \text{ opt}} = V_{c1} \cdot \left(\frac{T_1}{T_{ok}} \right)^{-1/k} \quad (4.9.3.1)$$

За тази цел се използват трайностите на инструментите и скоростите на рязане на базата на данни в реално време. При определянето на времето на използване вече се изчисли средната стойност на времето на използване с принадлежащата му скорост на рязане.

Изчисление на оборотите, които са необходими за скоростта на рязане:

$$n = \frac{vc \cdot 1000}{d \cdot \pi} \quad (4.9.3.2)$$

алтернативно изчисление на скоростта на рязане

Съгласно [KLOCK-1] скоростта на рязане се установява по следния начин (разходно оптимизирана):

$$V_{c \text{ opt}} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{\left(t_w + \left(\frac{K_{whor}}{K_{ML}} \right) \right)}{C_v}} \quad (4.9.3.3)$$

За улеснение е използвана формула 4.9.3.1 по *Meins*, при промишлена реализация може да бъде използвана алтернативната формула 4.9.3.3.

3.1.3.Разходно оптимално изчисление на подаването

Подаването зависи от няколко фактора.

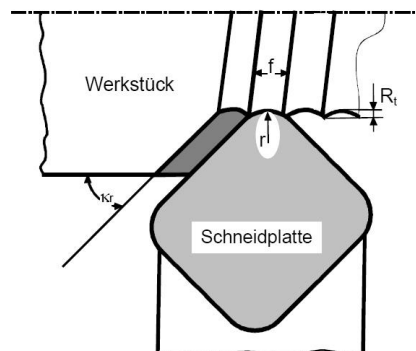
На първо място от подаването зависи качеството на повърхността (височина на грапавините); затова подаването трябва да бъде избрано така, че да се спази височината на грапавините R_t .

Избраните подавания по принцип се използват на базата на предложени от производителя на инструментите стойности. Подаванията се изчисляват емпирично. Поради неясните условия на работа на производителя на инструментите зададените стойности са много груби и в отделни случаи могат да бъдат различни.

Подаването трябва да бъде в максималната област поради оптимизирането на разходите. Все пак обаче подаването се влияе от други рамкови условия, като например изискванията за качество.

Качество:

Височината на грапавините се влияе най-общо от радиуса на инструмента и от подаването, както е видно на фигура 73. Така подаването трябва да бъде приспособено.



Фигура 73: Качество на повърхността в зависимост от параметрите на обработка съгласно Klocke

С приближение може да бъде използвана следната формула за определяне на кинематичната височина на грапавините:

$$R_t \approx \frac{f^2}{8 \cdot r} \quad (4.9.4.1)$$

За да се взема под внимание качеството също и при оценяванията, технологичните класове на инструментите са разделени на груба обработка и шлифование.

Най-общо качеството на повърхността се определя съгласно DIN 3141 ред 2, съответно ISO 1302.

шлифование: $R_a = 0.8 \mu m$

шлифование: $R_z = 100 \mu m$

груба обработка: $R_a = 12.5 \mu m$

груба обработка: $R_z = 100 \mu m$

Сега можем да дефинираме повърхността съгласно ISO 1302 чрез средната аритметична стойност на грапавината R_a ; вж. [HOIS-1].

Подаването в зависимост от мощността на машината

Подаването на инструментите не трябва да надхвърля граничните стойности на машината; затова трябва да бъдат взети под внимание мощностите на машината.

Технологичните гранични условия на машината, като въртящия момент, трябва да бъдат взети под внимание при оптимизирането. За тази цел са необходими още изследвания, за които са необходими долу посочените формули като основно изчисление.

Скорост на подаване при фрезозване:

$$v_f = n \cdot f_z \cdot Z \quad (4.9.4.2)$$

Подаване на едно въртене:

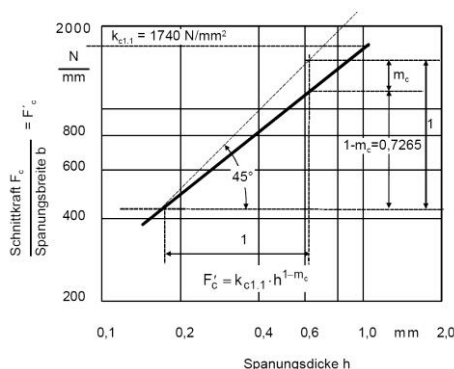
$$f_u = \frac{v_f}{n} \quad (4.9.4.4)$$

Дължина на подаване a_p при пробиване:

$$a_p = b \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \quad (4.9.4.6)$$

Сила на рязане:

Силата на рязане зависи от подаването, която зависимост е представена на фигура 75 от [KLOCK-1], и се изчислява предимно чрез *уравнението на Kienzle*, съответно от неговото производно.



Фигура 75: Изчисление на силата на рязане по Kienzle съгласно Klocke

За тази цел трябва да бъдат установени допълнителни параметри, които се базират на таблици на материалите.

Константи от таблиците на материалите

$k_{c1.1}$ = основна стойност на специфичната сила на рязане при напречно сечение на стружкоотнемане $A = 1\text{mm}^2$

m = стойност на нарастване на специфичната сила на рязане

Ориентировъчните стойности на специфичната сила на рязане $k_{c1.1}$ и на константата m могат да се вземат от таблицата на материалите (извадка от таблица 2.11 / [GARANT-1]).

Група на материала		здравина [N/mm ²]	материал			
			№ на материал а	Обозначение на материала	$k_{c1.1}$ [N/mm ²]	m
1.0	Конструкционна стомана	<500	1.0037	St 37-2	1780	0.17
1.0	Конструкционна стомана	500-850	1.0050	St 50-2	1990	0.26
			1.0060	St 60-2	2110	0.17
			1.0070	St 70-2	2260	0.30
2.0	Автоматна стомана	≤500	1.0718	9SMnPb28	1200	0.18

Таблица 10: Извадка от таблицата на материалите съгласно наръчника за стружкоотнемане на Garant

Специфична сила на рязане k_c

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m} \quad (4.9.4.7)$$

За дебелината на стружкоотнемане h трябва да се установи дебелината на стружкоотнемане в зависимост от обработката.

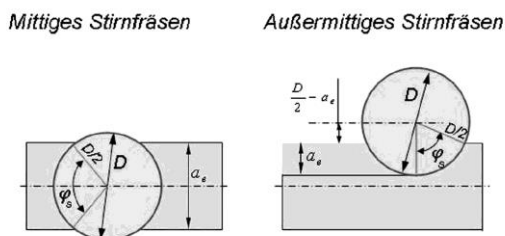
Така е необходимо да се установи разходно оптималното подаване в зависимост от технологията на обработка.

Като пример е представено изчислението за обработката свредловане в плътен материал и симетрично челно фрезоване.

Изчисление на подаването за симетрично челно фрезоване:

При фрезоване се използва средната дълбочина на стружкоотнемане h_m .

При наблюдението е взето под внимание симетрично челно фрезоване съгласно [GARANT-3], както показва фигура 77.



Фигура 77: Ъгъл на дъгата на рязане и величини при челното фрезоване съгласно наръчника за стружкоотнемане на Garant

$$h_m = \frac{114.6^\circ}{\phi_s^\circ} \cdot f_z \cdot \sin \kappa \cdot \frac{a_e}{D} \quad (4.9.4.16)$$

Ъгълът на дъгата на рязане ϕ трябва да бъде изчислен по следната формула:

$$\phi_s = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D}\right) \quad (4.9.4.17)$$

Сила на рязане:

$$F_c = b \cdot h \cdot k_c \quad (4.9.4.18)$$

Изчисление на зъбите, които се намират в действие (зацепени):

$$Z_{ie} = \frac{\phi_s}{360} \cdot Z \quad (4.9.4.19)$$

Средна сила на рязане за разрез:

$$F_{cmz} = b \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{ver} \cdot K_{sch} \quad (4.9.4.20)$$

Изчисление съгласно [GARANT-3]

Задвижваща мощност

$$P_c = \frac{F_{cmz} \cdot v_c \cdot Z_{ie}}{60000} \quad (4.9.4.21)$$

$$F_{cmz} = \frac{P_c \cdot 60000}{v_c \cdot Z_{ie}} \quad (4.9.4.22)$$

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \quad (4.9.4.23)$$

$$\eta = \text{приет кпд} = 0.75 \quad (4.9.4.24)$$

Въз основа на горе посочените изчисления може да бъде установено подаването. За тази цел трябва да бъдат взети под внимание желаните височини на грапавините, мощности на машината и т.н.

$$b \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{ver} \cdot K_{sch} = \frac{P_c \cdot 60000}{v_c \cdot Z_{ie}} \quad (4.9.4.25)$$

$$b \cdot \frac{114.6 \cdot f_z}{\phi_s} \cdot f_z \cdot \sin k \cdot \frac{a_e}{D} \cdot k_c \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{ver} = \frac{P_c \cdot 60000}{v_c \cdot Z_{ie}} \quad (4.9.4.26)$$

$$f_z = \sqrt{\frac{P_c \cdot 60000 \cdot D \cdot \phi_s}{v_c \cdot Z_{ie} \cdot k_c \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{ver} \cdot K_{sch} \cdot a_e \cdot \sin k \cdot b \cdot 114.6}} \quad (4.9.4.27)$$

$$f_{z \text{ opt}} = \sqrt{\frac{P_a \cdot \eta \cdot 60000 \cdot D \cdot \phi_s}{v_c \cdot Z_{ie} \cdot k_c \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{ver} \cdot K_{sch} \cdot a_e \cdot \sin k \cdot b \cdot 114.6}} \quad (4.9.4.28)$$

Подаване за симетрично челно фрезозане при обработка на стомана

$$f_{z \text{ opt}} = \sqrt{\frac{P_a \cdot 0.75 \cdot 60000 \cdot D \cdot \phi_s}{v_c \cdot Z_{ie} \cdot k_c \cdot 6 \cdot 1.15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot a_e \cdot \sin k \cdot b \cdot 114.6}} \quad (4.9.4.29)$$

Подаване за симетрично челно фрезозане при обработка на алуминий

$$f_{z \text{ opt}} = \sqrt{\frac{P_a \cdot 0.75 \cdot 60000 \cdot D \cdot \phi_s}{v_c \cdot Z_{ie} \cdot k_c \cdot 2 \cdot 1.15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot a_e \cdot \sin k \cdot b \cdot 114.6}} \quad (4.9.4.30)$$

4. Валидиране

Описаната концепция как се инсталира на KIT-IMI за онагледяване на ефектите образува заедно със софтуерните партньори основата за други промишлени софтуерни приложения. На базата на тази концепция се разработва промишлено приложение. Така демонстраторът на KIT-IMI може да бъде доразвит до продуктивно приложение чрез съответните подобрения.

Цялото оптимизиране по време на фазата на ратифициране е проектирано за технологичните методи на пробиване (пробиване в плътен материал) и симетрично челно фрезозане. Допълнението към други методи и оптимизирания са идентични, тук трябва да бъдат взети под внимание технологичните формули и граничните условия. При валидизирането се представят теоретичните ефекти в съответствие с реалните условия на работа, за да може да бъдат постигнати ефекти, които на пръв поглед не са директно видими.

4.1 Онагледяване на веригата на целия процес на KIT-IMI

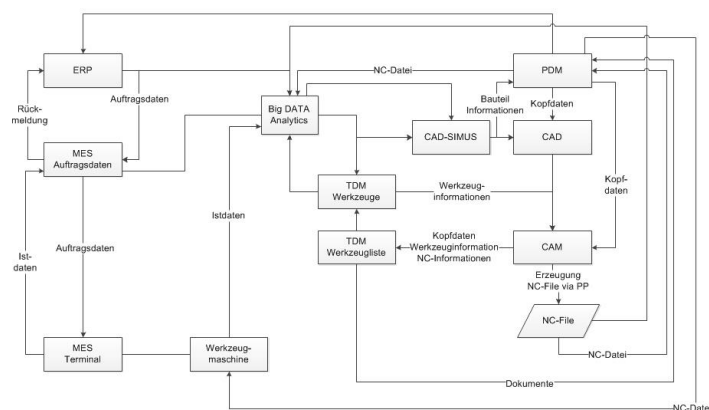
При примерната интеграция е от голямо значение освен спестяването на разходи и необходимостта да се редуцира труда за поддръжка на данните, като се увеличава производителността. Това са предпоставките за осъществяване на оптимизациите. На базата на оценките на данните и данните в реално време от машината се оптимизират, съответно допълват данните на планирането, така че трудът за поддръжка на данните се редуцира.

4.2 Поток от данни при KIT-Industrie 4.0 CollaborationLAB

За да може за процеса на оптимизация при технически и логистични процеси да разполагаме с данни, се оценяват данни от различни източници.

На базата на получената информация допълнително се взема под внимание процесът на стареене на машините, тоест на базата на износването технологичните данни могат да бъдат съответно коригирани.

Основополагащият поток от данни е показан на фигура 88 съгласно [MUECK-4]:



Фигура 88: основен работен поток съгласно Mücke

За да може интеграциите да бъдат проследени, в следните таблици са изброени най-важните области от данни. На основата на тези области от данни е изградено и валидизирането. Изчисленията, които са валидизирани при анализа на данни, също са показани по-долу.

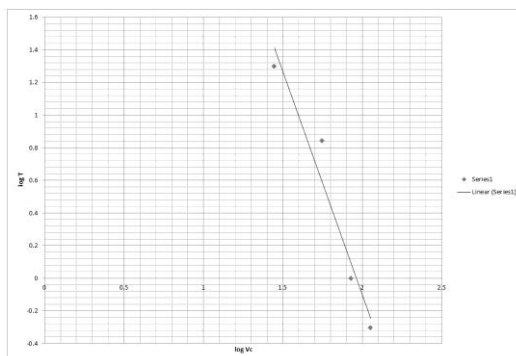
4.2.1 Работен процес

За по-нататъшното разглеждане подробно изследвахме CAD/CAM-процеса. Разглеждаме работния процес, който представлява основата за валидирането.

Установена константа на трайност на инструмента	-2.74	-2.74	-2.74	-2.74	4.9.2.13 4.9.2.14
---	-------	-------	-------	-------	----------------------

Таблица 34: логаритмично представяне на скоростта на рязане и трайността на инструмента

Беше изчислена константата на трайност на инструмента k , както е показана на фигура 103.



Фигура 103: Представяне на трайността на инструментите въз основа на данните в реално време

4.3.3. Определяне на разходно-оптималната трайност на инструмента

Разходно-оптималната трайност на инструмента се изчислява, както е показано на таблица 35.

	стойност	формула
Време за смяна на инструмент t_w	2 min	
Разходи за инструменти на един разрез K_{WCUT}	1.34 €	
Разходна ставка за машини и заплати K_{ML}	1 €/min	
Трайност на инструмента k	-2.74	
Разходно оптимално време на използване T_{ok}	5.8 min	4.9.2.15

Таблица 35: Изчисление на разходно-оптималната трайност на инструмента

4.3.4. Определяне на разходно-оптималната скорост на рязане

Въз основа на трайността на инструмента може да бъде установена скоростта на рязане, както се вижда от таблица 36.

	стойност	формула
Разходно оптимално време на използване T_{ok}	5.8 min	
Средна стойност на скоростта на рязане V_{c1}	70.5 mm/min	
Средна стойност на трайността на инструмента T_1	7.13 min	
Константа на трайността на инструмента	-2.74	
Резултат: разходно оптимална скорост на рязане $V_{c opt}$	76 mm/min	4.9.3.1

Таблица 36: Изчисление на разходно-оптималната скорост на рязане

4.3.5. Определяне на специфичната сила на рязане

За установяване на подаването са необходими допълнителни данни и опити. Те допълнително се определят.

За изчисление на напречното сечение на стружката бяха използвани следните основни данни (вж. таблица 37):

	стойност	формула
Специфична сила на рязане $k_{c1.1}$ при стомана $>850 \text{ N/mm}^2$ якост	830 N/mm^2	
константа m	0.23	
Дълбочина на рязане a_p	5 mm	
Брой на зъбите Z	4	
Широчина на рязане a_e	4 mm	
Диаметър на фрезата D	6 mm	
Ъгъл на дъгата на рязане ϕ_s	$\approx 83^\circ$	4.9.4.17

Таблица 37: Основни данни за изчисление на подаването

На базата на основните данни се изчислява специфичната сила на рязане k_c (таблица 38).

	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	формула
Честота на въртене n	1500 U/min	3000 U/min	4500 U/min	6000 U/min	
Скорост на рязане v_c	28 mm/min	56 mm/min	85 mm/min	113 mm/min	4.9.3.2
подаване f_u по данни в реално време от машината	0.08 mm/U	0.08 mm/U	0.08 mm/U	0.08 mm/U	
Скорост на рязане v_f по реални данни от машината	120 mm/min	240 mm/min	360 mm/min	480 mm/min	4.9.4.2
Дебелина на стружката h по данни в реално време от машината	0.018 mm	0.018 mm	0.018 mm	0.018 mm	4.9.4.16
Специфична скорост на рязане k_c	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	4.9.4.7

Таблица 38: Изчисление на специфичната скорост на рязане k_c

4.3.6. Определяне на подаването

На основата на помощното изчисление към специфичната сила на рязане и резултиращите подавания може на базата на мощността на машината първо да се изчисли възможното подаване, както се вижда на таблица 39.

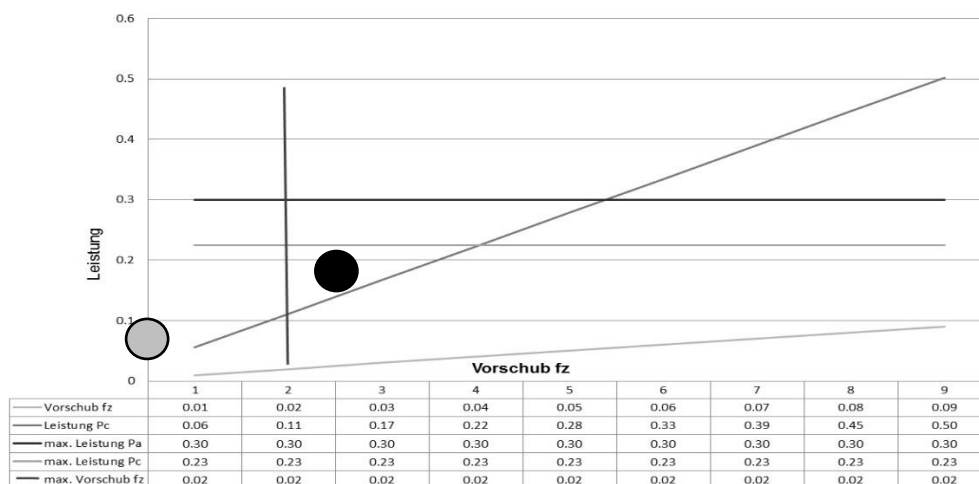
	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	Оптимизирани стойности
Мощност на машината P_a	0.3 KW	0.3 KW	0.3 KW	0.3 KW	0.3 KW
Честота на въртене n	1500 U/min	3000 U/min	4500 U/min	6000 U/min	4034 U/min
Скорост на рязане v_c	28 mm/min	56 mm/min	85 mm/min	113 mm/min	76 mm/min
Специфична сила на рязане k_c на базата на данни в реално	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²	2080 N/mm ²
Брой зъби Z	4	4	4	4	4
Диаметър на фрезата D	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm

Таблица 39: Базови и пресметнати данни за определяне на подаването и проверка на мощността

Оптимизираното подаване се определя по формула 4.9.4 като се имат пред вид технологията на обработване и материала - фигура 104, данните са дадени в табл.40

	Оптимизирани стойности
подаване f_u	0.16 mm/U
подаване за зъб f_z	0.04 mm/Z

Таблица 40: определяне на подаването при пробиване в плътен материал



Фигура1: Оптималното подаване в зависимост от мощността на машината

Вижда се, че въз основа на данните за подаването от производителя, инструментът трябва да се използва с редукция, но тогава мощността на машината не се използва цялостно.

Въз основа на данните от производителя за максимално подаване $f_z=0,02 \text{ mm/Z}$ то трябва да се редуцира от $0,04 \text{ mm/Z}$ на $0,02 \text{ mm/Z}$, както е показано в таблица 41

	Optimierte Werte nach Korrektur Оптимизирани стойности след корекция
подаване f_u	0.08 mm/U
подаване за зъб f_z	0.02 mm/Z

Таблица41: редуцирано подаване въз основа на данните от производителя за материала на инструмента

Въз основа на възможната по-висока мощност на вретеното, като се взема под внимание ефективността $\eta=0.75$ и на по-малкото подаване поради избора на инструмент трябваше да се изследва друг инструмент, за да се постигне по-изгодна в стойностно отношение продукция, като например да се използват инструменти от друг материал. В случая с твърдосплавна фреза могат да се постигнат по-големи подавания. В този случай трябва отново да се проверят използваните пресмятания.

4.3.7. Определяне на основното технологично време (извадка)

Определянето на основното технологично време се осъществява въз основа на данните, както се вижда на таблица 45.

	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	Оптимизирани стойности	формула
Честота на въртене n	1500 U/min	3000 U/min	4500 U/min	6000 U/min	4034 U/min	
подаване f_u	0.08 mm/U	0.08 mm/U	0.08 mm/U	0.08 mm/U	0.08 mm/U	
Дължина на фрезозане l	132 mm	132 mm	132 mm	132 mm	132 mm	

Брой на преходите i	10	10	10	10	10	
Основно технологично време t_h	11 min	5.5 min	3.7 min	2.8 min	4.1 min	4.9.6.2

Таблица 45: Определяне на основното технологично време

4.3.8. Определяне на цената на инструмента

Определянето на цената на инструмента се осъществява въз основа на данните, както се вижда на таблица 46.

	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	Оптимизиран и стойности	формула
Цена на инструмента K_{WZ}	5.37 €	5.37 €	5.37 €	5.37 €	5.37 €	
Основно технологично време t_h	11 min	5.5 min	3.7 min	2.8 min	4.1 min	
Часова ставка на машината K_{ML}	60€/Std	60€/Std	60€/Std	60€/Std	60€/Std	
Трайност на инструмента T	20 min	7 min	1 min	0.5 min	5.8 min	
Цена на инструмента за определеното основно технологично време K_{Wh}	2.95 €	4.20 €	19.70 €	29.50 €	3.80 €	4.9.7.1

Таблица 46: Определяне на цената на инструмента

4.3.9. Определяне на производствените разходи, вкл. цената на инструмента (извадка)

Определянето на производствените разходи се осъществява въз основа на данните, както се вижда на таблица 47.

	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	Оптимизирани стойности	формула
Цена на инструмента за обработката K_{Wh}	2.95 €	4.20 €	19.70 €	29.50 €	3.80 €	
Основно технологично време t_h	11 min	5.5 min	3.7 min	2.8 min	4.1 min	
Часова ставка на машината K_{ML}	60 €/Std.	60 €/Std.	60 €/Std.	60 €/Std.	60 €/Std.	
Производствени разходи K_{FNCA}	14 €	9.70 €	23.40 €	32.30 €	7.90 €	4.9.8.2

Таблица 47: Изчисление на извадката на производствените разходи

5. Резултати / Обобщение

5.1. Резултати

5.1.1. Детайл 2

При детайл 2 много бързо се разпознава, че възможната мощност на машината не беше използвана. Изчисления за оптималното използване на инструментите и т.н. в практиката се провеждат много рядко, особено при малки серии. NC-програмистът може въз основа на методите, които се прилагат в DATA-Analytic, преработи предложените стойности, за да постигне съответните резултати, както се вижда на таблица 49.

Фигура 18 показва, че процентът на ефективното отстраняване на материали, също така и основното технологично време на обработката, не представляват разходния оптимум, защото трябва да бъдат взети под внимание още разходни фактори.

	опит 1	опит 2	опит 3	опит 4	Оптим. стойности	Минимално спестяване
Производствени разходи (извадка)	14 €	9.70 €	23.40 €	32.30 €	7.90 €	≈18%

Таблица 49: Спестяване на производствените разходи (извадка) при детайл 2

5.1.2. Визуализиране

Въз основа на данните в реално време се вижда как се променят скоростта на подаване и скоростта на рязане в зависимост от NC-комплекта и времевия печат. Въз основа на визуализациите се подобрява графично свързването на различни технически данни. Потребителят би могъл с помощта на тези табла да получи лесни оценявания в реално време, за да подобри процесите в технологично и икономическо отношение.

Тук вниманието е насочено върху това, че чрез Pareto-анализи се показва какви подобрения могат да бъдат постигнати на базата на:

- Нивата на детайлите (CAD)
- NC-програми (CAM)
- Селекции на инструменти (TDM)
- Време на обработка (ERP)

Целта е чрез непрекъснати подобрения да се постигне оптимизация.

На основата на тези данни могат да бъдат, както вече бе споменато, направени оценки, за по-добър избор на инструменти, респективно модификация на технологични данни и т.н.

5.1.3 Обобщение на резултатите

Определянето на разходите показва, че за оптимизиране на разходите са необходими много фактори.

След като например мощността на машината не се използва до край, то е налице още един потенциал за оптимизиране. Въз основа на необходимите в днешно време

ръчни пресмятания това не може, най-вече в общото машиностроене и при малки серии, да се установява, понеже разходът за това е прекалено голямо. На базата на показаните анализи това се създава и така създава възможности на потребителите за подобрения.

Така се добавя един нов потенциал за оптимизиране, който досега не беше наличен. Изборът на инструменти се опростява значително на базата на анализите в реално време, също и при количество на производството 1.

Чрез ратифицирането се показва, че разумното използване на ресурси, възможно най-добрите методи на производство, подходящи конструкции и т.н. позволява да се постигне подобрене от 20% в рамките на общата ефективност, както различните анализи очакват.

5.2 Ефекти

Ефектите бяха представени в раздел „валидиране“. Поради положителния отзвук от решението и поради актуалните разработки на производителите на машини и управления и на доставчиците на IT-системи ще се засилва универсалността на Engineering. На първо място ще се осъществи оптимизирането в областта на техниката. Подобренията при повечето промишлени предприятия все още не могат да бъдат отчетени, понеже ефектите не са директно видими и не могат да бъдат оценени със съвременните MES-системи.

На базата на:

- Намаляване на разходи при ресурсите
- Редуциране на производствените разходи
- Повишаване на продуктивността в областта на планирането
- Оптимизирани възможности за планиране
- Подобрения на изделията

може да се счита, че чрез обвързана в мрежа обработка на данните в реално време може да се постигне значително повишаване на продуктивността.

Тук трябва невидимите ефекти, както е показано на таблица 50, да бъдат по-високо оценени, защото те влияят при Engineering.

Видими ефекти	Невидими ефекти
ОЕЕ-оценки за оптимизиране на производството	Технологични оптимизирания
Shopfloor-оптимизирания	Проектиране/конструирание
	Многофакторни показатели
	Многофакторни преценки

Таблица 50: Извадка на ефекти от машината

Допълнително към представените директни икономии на разходите се очакват още ефекти в областта на планирането, както е показано по-долу.

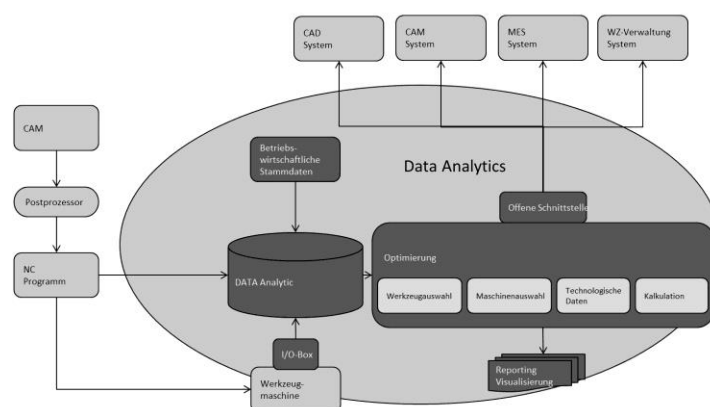
5.3 Технологично подобряване на процесите при CAD/CAM условия

Обобщено ефектите и подобренията на процесите в отделните области могат да бъдат представени, както следва.

Тук DATA-Analytic основата за оптимизиранията на процесите. Посочените подобрения на процесите ще доведат несъзнателно до повишаване на добавянето на стойност.

5.3.1 Подобряване на процесите на ниво техническо планиране

CAM-процесът представлява основата на анализа на данни, както се онагледява на фигура 21[MUECK-6]. На базата на подробна информация в NC-програмата може да се осъществи не само оптимизиране. Въз основа на тези данни в реално време се създават автоматично технологични данни, логистична информация, така че ръчният труд за поддръжка на данните отпада.



Фигура 21: Частично решение на оптимизирането в техническата област съгласно Mücke

5.4 Обобщение

Описаните ефекти от свързването и оценката на различните източници на данни ще бъде част от индустрия 4.0 [MUECK-6]. За тази цел системите трябва бъдат допълнително обвързани. Данните трябва да се намират в производствените системи и да бъдат достъпни. Така също става ясно, както се вижда, че системите за чисто планово управление на данни ще намалят своето значение. Чрез едно централно IoT-решение ще се редуцират местата на свързване въпреки децентрализираните системи, понеже IoT-решението ги свързва ако е необходимо от техническа, качествена и промишлено-икономическа гледна точка, както [HOF-1] показва.

Отделните процеси, които в по-голямата си част са застъпени в отделите, се подобряват съответно чрез анализи на данни, за да се постигне по-добро качество на данните. Тук е от огромно значение данните от различните процеси и системи да се разглеждат и да се анализират цялостно, защото в противен случай няма да се постигне подобряване на целия процес за редуциране на продуктите и производствените разходи.

На базата на актуални развития може вече да се свързват важни за качеството оценки в реално време и OOE-оценки с технологичното оптимизиране.

ПРИНОСИ

Научни приноси

1. Разработена е методология и алгоритъм за оптимизирано използване на инструменти, както и подходящ коригиращ алгоритъм за ефективно използване ресурсите на машини и производствена техника. Методологията се основава на Big-Data-Analysis за цялостна оптимизация чрез различни системи.
2. Предложена е информационна структура за мрежа от системи за планиране на база данните от производството с цел директното им използване в конструирането на геометрични обекти. Структурата позволява оптимизиране на конструкцията и NC програмиране посредством контрол на разходите въз основа на данните в реално време и подобряване на процеса на NC - планиране поради повишената CAD асоциативност с NC - програмите.

Научно – приложни приноси

1. В резултат на проведените теоретични изследвания са получени резултати, отнасящи се за обработения обем за определен период от време, който е индикатор за производителността, и е потвърдено, че не е достатъчен за определяне на производство с оптимална стойност. Установено е, че са необходими едновременно производствено-икономическите и техническите данни за определянето на разходните, респективно времевите стойности.
2. Проведените изследвания, извършени въз основа на оптимизирано използване на производствена техника доказват, че 70% от продуктите разходи се определят при конструирането и че разходите за редуциране на цените на този етап са относително малки. От получените експериментални резултати се доказва, че посредством технологичните данни от машината в реално време и информацията за ресурсите при CAD се постигат директни икономии.
3. Експериментално е установено, че посредством данните в реално време може да се извърши пренасяне на оптимизираните технологични параметри директно в CAM- базата данни. Потвърдено е, че чрез обратното въвеждане на асоциативни технологични данни, отнесени към един обработван обект, вече не е необходимо ръчно сравняване на NC- програмите (оригинални и модифицирани).
4. Експериментално се валидира твърдението, че при дребносерийното производство може посредством оптимизация да се постигне 20% повишаване на производителността. Изследвано е и е установено, че при нарастващо индивидуализиране на изделията и резултиращото от това намаляване на бройката им в серията е необходимо конструирането за рентабилно производство да се дефинира още при използването на CAD.

Приложни приноси

1. Разработени са средства за автоматизирано създаване на NC-програми и за определяне на алтернативни производствени операции в работните планове, което позволява да се повиши гъвкавостта на производствените системи. Като следствие от имплементираните за това алгоритми се повишава и асоциативността на технологичните данни, което води до допълнително подобряване на параметрите на производствения процес.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Mücke, Thomas, System for the optimization of design-and NC-processes, European Cooperation Scientific Approaches and Applied Technologies, 03'2016, ISSN 2449-7320
2. Mücke, Thomas, Galabov, Vassil Optimization of design- and NC-processes through Real-time data of resource information from the production in the smart factory, Wiener Produktionstechnik Kongress TU Wien - internationale Konferenz, 09'2016, ISBN 978-3-7003-1976-4
3. Mücke, Thomas, Integrated digital engineering through real time data and big data analytics, European Cooperation Scientific Approaches and Applied Technologies, 03'2016, ISSN 2449-7320
4. Mücke, Thomas, TDM optimiert den Produktionsprozess durch intelligente Vernetzung, Zerspanen im modernen Produktionsprozess Technische Universität Dortmund, 09'2015, ISBN 3-9808717-9-4
5. Mücke, Thomas, Vernetzung von PLM-, ERP- und MES geprägten Prozessen, Tagung Industrie 4.0 in KMU Hochschule Karlsruhe, ISBN 978-3-95663-086-6
6. Mücke, Thomas, Ganzheitliche Optimierung durch Vernetzung von PLM- , ERP- und MES geprägten Prozessen unter Berücksichtigung von Betriebsmittel-Abläufen, wissenschaftliche Konferenz 25 Jahre FDIBA German Engineering: Made in Bulgaria
7. Mücke, Thomas, Mit Daten Schätze heben, Dritter Fachkongress Industrie 4.0 Wien, 10'2016, WEKA Verlag

1 Summary

1.1 Situation

The actual connectivity between the planning areas is not really available. Particularly the information retrieval in real time from the machine with cutting conditions is not realized. The possible savings is enormous after a horizontal and vertical connectivity. At the moment, we haven't a digital connectivity in the engineering process and based on this missing real time data's it's not possible to improve the planning area. With the conditioned data and Big-Data-Analysis it's useful to optimize the CAD part to define the cost effective manufacturing process and to push the reducing of costs in the planning process. With integrated dataflow and more visualization it's to achieve a higher productivity in the future and a secure competitive advantage in the global environment.

1.2 Implementation

The new methodology through a high connectivity between different systems allows achieving new effects in product- and manufacturing costs.

Through technological real-time data from the machine tool in comparison with planned values in the NC-code from the CAM-system, we receive a scatterplot of technological values. Based on these values, it's possible to calculate with regression-analyses the tool-life constants and derived of the actual values the optimized tool-life, cut speed, feed-rate, and so on.

The basic data's are the premise to calculate the material removal rate, process time and other KPI's.

With the calculated indicators it's possible to define in the planning area the best manufacturing method and to select the optimized resources.

With a high flexibility, the cycle time will be decrease and the product costs will be convenient.

1.3 Results

The results after the validation and tests at KIT-IMI are improved as supposed. I expect that we receive with a continuously improvement process to reduce the costs on planning and production area round 20%.