

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

Bakalářská práce

Využití 5G sítí v průmyslové výrobě

Autor: **Tomáš KRŇOUL**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan EDL, Ph.D.**

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Tomáš KRŇOUL
Osobní číslo:	S19B0697P
Studijní program:	B0715A270013 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Průmyslové inženýrství a management
Téma práce:	Využití 5G sítí v průmyslové výrobě
Zadávací katedra:	Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Teoretická východiska
3. Popis technologie
4. Popis přínosů
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **0 výkresů**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. WANG, Xiwen, GAO, Longxiang. *When 5G Meets Industry 4.0*. Springer, 2020. ISBN 978-981-15-6731-5.
2. ADIB, Dalia. *5G's impact on manufacturing* [online]. 2019. Dostupné z: <https://carrier.huawei.com//media/CNBGV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Manufactureing.pdf>
3. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Implementace a rozvoj sítě 5G v ČR* [online]. 2019. Dostupné z: <https://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/11/Implementace-a-rozvoj-s%C3%ADt%C3%AD-5G-v-%C4%8CR.pdf>

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Raška, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Milan EDL, Ph.D. za veškeré rady, doporučení, připomínky a ochotné jednání při konzultacích. Také bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Krňoul	Jméno Tomáš		
STUDIJNÍ OBOR	B0715A270013S03 „Průmyslové inženýrství a management“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení doc. Ing. EDL, Ph.D.	Jméno Milan		
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KPV			
DRUH PRÁCE	DIPLLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Využití 5G sítí v průmyslové výrobě			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	59	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce je zaměřena na využití 5G sítí v průmyslové výrobě. Práce popisuje tuto technologii a technologie k ní potřebné. V praktické části jsou uvedeny možnosti využití a příklady z praxe. Zároveň bylo provedeno dotazníkové šetření zabývající se postojem podniků k 5G a k identifikování řešení, která potencionálně čeká v blízké budoucnosti větší nasazení v podnicích.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p>	<p>5G, digitalizace, automatizace, internet věcí, kampusová síť</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Krňoul	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	B0715A270013S03 “ Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname doc. Ing. EDL, Ph.D.	Name Milan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Use of 5G networks in industrial production		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	59	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis is focused on the use of 5G networks in industrial production. The work describes this technology and the technology needed for it. The practical part presents the possibilities of use and examples from practice. At the same time, a questionnaire survey was conducted dealing with the attitude of companies to 5G and to identify solutions that potentially await greater deployment in companies in the near future.
KEY WORDS	5G, digitization, automation, internet of things, campus network

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	10
Seznam použitých zkratk	11
Úvod	13
1 Společnost Gartner	14
2 Historie a vývoj mobilních sítí	16
2.1 Síť první generace 1G	16
2.2 Síť druhé generace 2G	16
2.3 Síť třetí generace 3G	16
2.4 Síť čtvrté generace 4G	16
2.5 Síť páté generace 5G	17
3 Standardy 5G	18
3.1 Požadavky IMT-2020	18
3.2 Partnerský projekt třetí generace 3GPP	18
3.3 Přínos jednotlivých Release	19
3.3.1 Release 15	19
3.3.2 Release 16	19
3.3.3 Release 17	19
4 Současné sítě vs 5G	20
4.1 Porovnání parametrů	20
4.2 Další změny	20
5 Jednotlivá spektra 5G sítí	22
5.1 Pásmo pod 1 GHz	22
5.2 Pásmo pod 6 GHz	22
5.3 Pásmo nad 6 GHz	22
6 Klíčové technologie umožňující 5G sítě	24
6.1 Small Cell	24
6.2 Massive MIMO	24
6.3 Beamforming	25
6.4 Full Duplex	26
7 Flexibilita sítí	27
7.1 Cloud network	27
7.2 NFV/SDN	27
7.2.1 NFV	27

7.2.2	SDN.....	28
7.3	Network slicing.....	28
7.3.1	eMBB	28
7.3.2	uRLLC.....	29
7.3.3	mMTC	29
7.4	Edge computing	30
8	Privátní kampusová síť.....	31
9	Možnosti využití 5G sítě v rámci podniku	32
9.1	Lokalizace a sledování.....	32
9.2	Autonomní dopravní systémy.....	33
9.3	Analýza dat a prediktivní údržba.....	34
9.4	Virtuální a rozšířená realita VR/AR	35
9.5	Roboty a Kolaborativní roboty	36
9.6	Monitorování a vizualizace dat.....	37
10	Příklady z praxe využívající 5G v průmyslové výrobě	39
10.1	Commercial Aircraft Corporation of China (COMAC).....	39
10.2	Haier.....	40
10.3	RoboTechnik.....	41
10.4	Sany.....	41
10.5	Xinfengming Group	42
10.6	Německé automobilky	43
10.6.1	Volkswagen Group.....	43
10.6.2	BMW	43
10.6.3	e.GO Mobile.....	44
10.6.4	Mercedes-Benz.....	44
11	Dotazníkové šetření.....	45
11.1	Jednotlivé otázky a získané odpovědi.....	45
11.2	Celkové zhodnocení dotazníkového šetření.....	49
	Závěr.....	51
	REFERENCE	53
	Seznam příloh.....	55

Seznam obrázků

Obrázek 1: Hype křivka [1.].....	14
Obrázek 2: Beamforming [19.]	26
Obrázek 3: Linka na třídění objektů za pomoci 5G TSN [38.]	37
Obrázek 4: Produkční linka v Tianjinu [40.].....	40
Obrázek 5: Inspekční robot při kontrole vláken [41.]	43
Obrázek 6: AGV přepravující karosérii vozu [46.].....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1: Požadavky IMT na 5G [6.]	18
---	----

Seznam použitých zkratek

3D	three-dimensional
3GPP	The 3rd Generation Partnership
AAU	Active Antena Unit
AE	Acoustic Emissions
AGV	Automated Guided Vehicle
AI	Artificial intelligence
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
API	Application Programming Interface
AR	Augmented reality
CNC	Computer Numerical Control
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
ERP	Enterprise Resource Planning
FDD	Frequency-division duplexing
Gbit/s	Gigabit za sekundu
GHz	GigaHertz
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communication
HD	High Definition
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGV	Intelligent Guided Vehicle
IMT 2020	International Mobile Telecommunications-2020
IoT	Internet of Things
IT	Information Technology
ITU	International Telecommunication Union
kbit/s	kilobit za sekundu
km ²	kilometr čtverečný
km/h	kilometr za hodinu
KPI	Key Performance Indicator
LED	Light-Emitting Diode
LTE	Long Term Evolution
MANO	Management and Orchestration
Mb/s	Megabit za sekundu
Mbps/m ²	megabit na metr čtvereční
MEC	Mobile Edge Cloud
MHz	MegaHertz
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
ms	milisekunda
MMS	Multimedia Messaging Service
mMTC	Massive Machine Type Communications
MTC	Machine-Type of Communications
NFV	Network functions virtualization
NFVI	Network functions virtualization infrastructure
NMT	Nordic Mobile Telephone
NR	New Radio
NSA	Non-Standalone
NTN	Non-Terrestrial Networks
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PaaS	Platform as a Service
PLC	Programmable Logic Controller

QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RFID	Radio Frequency Identifikation
SA	Standalone Access
SaaS	Software as a Service
SDN	Software-defined networking
SIM	Subscriber Identity Module
SLAM	Simultaneous localization and mapping
SMS	Short Message Service
TACS	Total Access Communications Systém
TDD	Time-Division Duplex
THz	TeraHertz
TSN	Time-Sensitive Networking
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHD	Ultra High Definition
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systém
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
uRLLC	Ultra-reliable and Low Latency Communications
V2X	Vehicle-to-Everything Communications
VLC	Visible Light Communication
VNF	Virtual Network Functions
VR	Virtual Reality
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

Úvod

V dnešní době stále více firem zavádí myšlenky průmyslu 4.0 a s tím spojenou plnou digitalizaci výroby i okolních věcí, například údržby nebo logistiky. Firmy tyto myšlenky zavádějí za příslibu růstu produktivity práce, zvyšování flexibility výroby nebo úspory času a nákladů. Se zkracujícími se životními cykly výrobků a zvyšující se konkurencí na trhu se tak pro mnoho podniků postupem času stalo nejdůležitější zvyšování konkurenceschopnosti a co možná nejvyšší přidaná hodnota k výrobkům. K dosažení těchto požadavků je však zapotřebí aplikace nových inovativních procesů a přesná, mnohdy náročná výroba. Z důvodu přesnosti a náročnosti výroby se tak digitalizace v podniku stává nezbytnou. Předpokládá se, že automatizace výroby a digitalizace celých podniků budou v následujících letech umocňovat právě nově vznikající technologie. Již dnes stroje řídí systémy, které se rozhodují na základě získaných, analyzovaných a shromažďovaných dat z různých senzorů tak, aby co nejvíce podpořily efektivnost výroby. Velkým tématem je ve spojitosti s roboty a celými výrobními linkami jejich mobilita, jelikož se dnes mnohem častěji mění obsah výroby v závislosti na menších životních cyklech výrobků, než tomu bylo v minulosti. V ideálním případě by se podniky chtěli oprostít od využívání pevně připojených datových kabelů ve výrobě, které dané přestavby výrazně zpomalují a prodražují. Stále větší zastoupení také nachází aplikace na rozšířenou a virtuální realitu, jež pomáhají například při zaškolování nových zaměstnanců. Bude tak nadále docházet k výraznému navýšení přenesených dat v rámci komunikace, ať už mezi jednotlivými zařízeními a produkty, tak i samotnými zaměstnanci. Požadavky na autonomnější, mobilnější a efektivnější výrobu tak vyžadují vylepšení současných komunikačních způsobů, které se již nyní mohou blížit svým limitům.

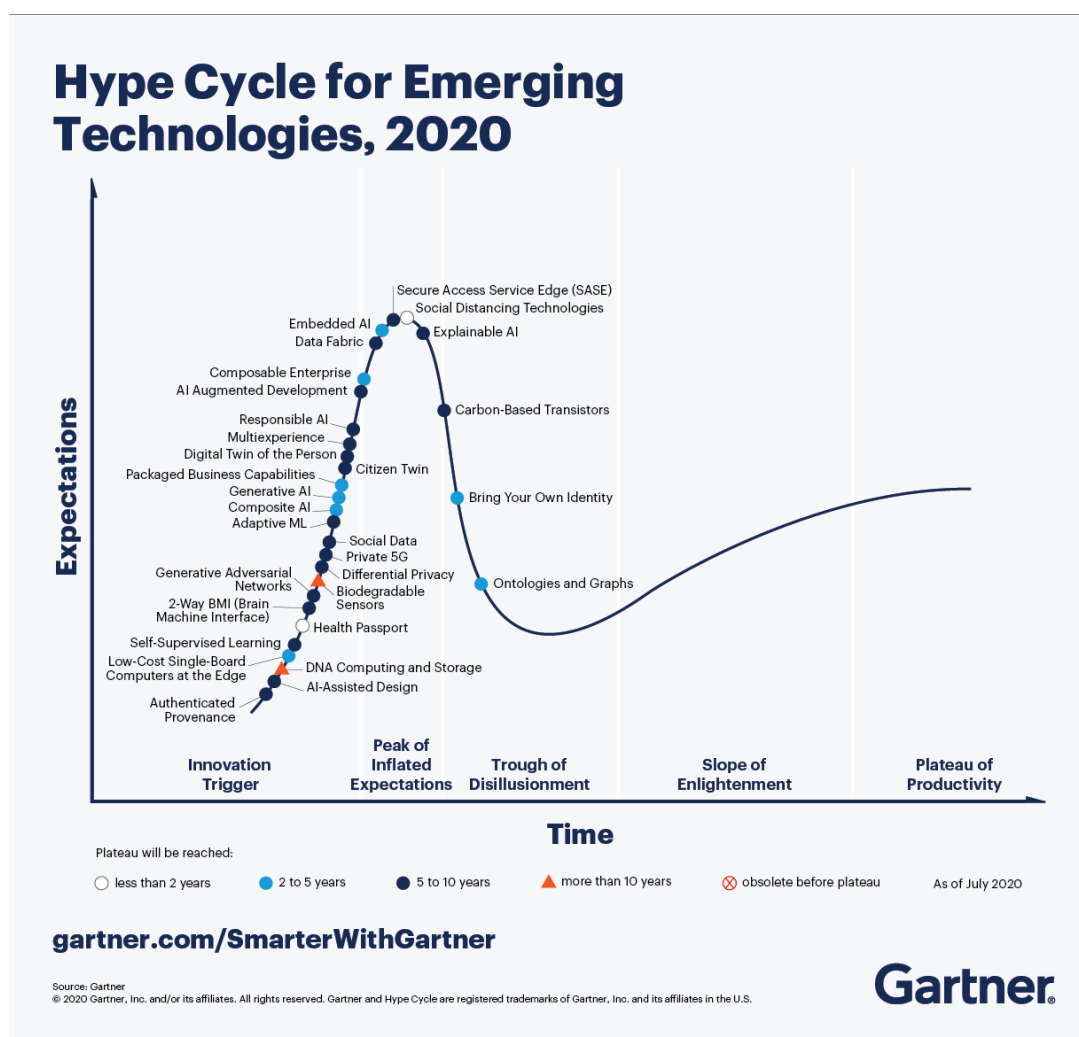
Klíčem k podpoře všech požadovaných vlastností na komunikace se mají stát sítě páté generace označované jako 5G, které si kladou za cíl zvýšit přenosové rychlosti, kapacitu sítí a zároveň snížit latenci. 5G sítě jsou mnohem více orientovány právě na požadavky průmyslu než běžných uživatelů, kteří změnu samozřejmě pocítí, ale pravděpodobně pro ně nebude tak stěžejní jako právě pro průmyslový sektor. Firmy lze připojit do veřejné 5G sítě, ale předpokládá se, že pro některé to nebude příliš výhodné, jak už z pohledu požadavků na danou síť, tak i z hlediska zabezpečení dat. Proto může být pro podniky výhodnější budovat malé privátní sítě s vlastnostmi přizpůsobenými potřebám daného podniku a nabídnout tak možnost vytvoření plně inteligentní továrny, která již bude moci plně využívat všech nových technologií. Například díky velké kapacitě bude možnost do 5G sítí připojit vše od samotných strojů a zařízení až po bezpečnostní kamery a kanceláře. Očekává se, že tak 5G sítě podníčí vznik nových technologií a celých odvětví. Pro operátory vznikají příležitosti, jak v průmyslovém odvětví vygenerovat pomocí 5G sítí velké zdroje příjmů, až v řádech stovek miliard dolarů. Nové sítě však s sebou nepřinášejí pouze výhody, ale také různé výzvy, které je třeba řešit.

V České republice je průmyslový sektor stěžejní pro ekonomický růst, a tak je třeba zajistit včasnou reakci na vývoj nových technologií a uplatňování nových myšlenek, aby nedošlo k postupnému úpadku průmyslu oproti ostatním zemím.

Cílem této bakalářské práce je vypracování rešerše právě na téma 5G sítě a jejím možném využití v průmyslové výrobě. Práce se zejména zaměřuje na porovnání 5G se současnými sítěmi a popis potřebných technologií pro dosahování stanovených vlastností. V praktické části práce budou uvedeny konkrétní možnosti využití, příklady firem z praxe, které již 5G sítě implementovali do výroby a následně bude provedeno dotazníkové šetření zabývající se postojem podniků k 5G a k jakým možným využitím by je potenciálně mohli chtít využít.

1 Společnost Gartner

Společnost Gartner každý rok publikuje tzv. hype křivku zabývající se nově rodícími technologiemi. Analytici v průběhu roku monitorují a sbírají data o nově se rodících technologiích napříč obory a následně svá zjištění a odhady vývoje zanášejí do této křivky. Do křivky jsou zanášeny technologie s největším možným přínosem v horizontu do 10 let. Tvar křivky zobrazuje životní cyklus daných technologií, avšak životní cyklus je pro každou technologii rozdílný. Jsou zde technologie, které jsou velmi složité na vývoj, nebo potřebují ke svému pokroku vybudování nové infrastruktury, eventuálně jiné zásadní změny. Pro tyto technologie není atypické, že se jejich vývoj odehrává napříč celou dekádou. Na druhou stranu jsou zde i technologie, které například staví již na existující infrastruktuře, a u nich se životní cyklus pohybuje v horizontu do 5 let. Hype křivka je rozdělena do 5 základních částí.



Obrázek 1: Hype křivka [1.]

Do první části jsou zařazeny nově vzniklé technologie nebo technologie, u kterých bylo oznámeno, že se na jejich přípravě začíná pracovat. Technologie zařazené do této části křivky většinou mají velký potenciál změnit současný trh a strhávají na sebe velkou pozornost s příslibem do budoucna.

V druhé části křivka dosahuje svého vrcholu. Jedná se tak o etapu v životním cyklu, kdy je na danou technologii pohlíženo s nerealistickými očekáváním. Výrobci prezentují svoje technologie jako právě ty, které změni svět a rovněž zvýší konkurenceschopnost podniků.

V této době tyto technologie implementují společnosti, kterým se říká technologičtí inovátoři. Společnosti se tím snaží zvýšit svoji konkurenceschopnost oproti společnostem, které s implementací nadále váhají. Takto brzká implementace však s sebou přináší i rizika a zklamání z nenaplnění očekávaných přínosů.

Tento propad z nenaplnění daných očekávání je charakterizován ve třetí části křivky, kdy postupně společnosti a média ztrácí zájem o technologii, nebo se rovnou objevují kritické články a studie zpochybňující využitelnost této technologie. Pro technologie se jedná se o kritickou část v jejím životním cyklu, kde mnoho technologií pohoří a zastaví se tak jejich vývoj. Naopak technologie, které tuto část přečkají, postoupí do části čtvrté.

Ve čtvrté části dochází k postupnému ujasnění očekávání od dané technologie. Jsou známa její rizika a výhody. Technologii však využívá stále méně než 5 % cílové skupiny. V tomto období se také projevují první vylepšení, opravy nebo nová zařízení, která pomáhají jak s chodem technologie, tak i s její implementací.

Následuje poslední část, kdy technologie začíná dosahovat potřebné produktivity. S příchodem dalších generací a vylepšení jsou již plně prokázány výhody spjaté s implementací technologie a společnosti ji začínají ve větší míře využívat. Křivka se postupně ustálí a nedochází již k výrazným změnám. Tedy až do bodu, kdy technologie začne být zastaralá a je postupně nahrazována technologií novou. [1.]

V roce 2019 se na vrcholu druhé části nacházely právě 5G sítě, u kterých se očekávala větší implementace v horizontu 2–5 let. Následně v roce 2020 se tak 5G sítě ocitly v zóně úpadku, kdy tento jev byl umocněn hoaxy (falešná zpráva, mystifikace), které spojovaly implementaci 5G sítí s propuknutím nákazy COVID-19 nebo jinými zdravím ohrožujícími vlastnostmi 5G sítí, které však byly řadou odborníků vyvráceny. V roce 2020 se také na křivce v oblasti mezi první a druhou částí objevují privátní 5G sítě, které by měly hrát významnou roli právě v průmyslových podnicích.

Lidé zabývající se inovacemi v podniku by tak měli tyto vývojové trendy zahrnuté v hype křivce bedlivě sledovat a uvažovat nad jejich konkrétním využitím pro podnik. Tato včasná reakce může pomoci podniku, aby se z něho nestal tzv. pozdní příjemce, tedy firma, která dlouhou dobu otálí s implementací dané technologie, což následně vede ke snížení její konkurenceschopnosti na trhu.

2 Historie a vývoj mobilních sítí

Když při experimentech v roce 1887 fyzik Heinrich Herz objevil existenci elektromagnetických vln, položil tím základní kámen pro vznik bezdrátového spojení. Dnes je po něm pojmenována jednotka frekvence v soustavě SI Hertz (Hz). První mobilní síť začala vznikat v 80. letech minulého století v Chicagu. Od té doby se přibližně každých 10 let objevuje nová generace mobilních sítí. Díky vývoji technologií a úpravám v architektuře sítí je každá nová generace schopna dosahovat větších rychlostí, stabilnějšího přenosu a nových funkcí.

2.1 Síť první generace 1G

První generace mobilních sítí byla uvedena do provozu v 80. letech 20. století. Jednalo se však pouze o analogový přenos hlasu. Využití k možnosti přenosu dat bylo velmi malé, kolem 2,4 kbit/s. Analogové systémy se potýkaly s řadou chyb, jako například se špatnou kvalitou hlasu, a také samotný přenos nebyl šifrovaný. Mezi nejpoužívanější systémy patřily NMT, TACS nebo AMPS. Tyto systémy využívaly frekvence do 900 MHz. [2.] [3.]

2.2 Síť druhé generace 2G

První generaci v polovině 90. let postupně nahradila generace druhá, která přinesla výrazné zlepšení. Druhá generace již přinesla šifrovaný přenos, což zabraňovalo odposlechu telefonátů a také k většímu zabezpečení dat, zlepšení kvality hlasu nebo k navýšení kapacity systému. Data byla přenášena v digitální podobě. Bylo umožněno posílat SMS a MMS zprávy. Zpřístupněny byly také datové služby pro mobilní telefony, a to vše skrze GSM. GSM systém využíval pro síť druhé generace frekvence mezi 900 až 1900 MHz. Síť druhé generace byly nadále v průběhu času vylepšovány. Někdy se tato vylepšení označují jako síť 2.5G nebo 2.75G. Přenosová rychlost u těchto sítí dosahovala u 2G 64 kbit/s a u konečného vylepšení 2.75G až 384 kbit/s. S těmito vylepšenými se také začalo využívat přepínání paketů a přepínání okruhů, což vedlo až ke třetí generaci mobilních sítí. [2.] [3.]

2.3 Síť třetí generace 3G

Na začátku 21. století byla představena již třetí generace mobilních sítí. A jako generace předešlá přinesla vylepšení stávajících funkcí – větší kapacitu systému a vyšší přenosové rychlosti dat. I díky přístupu k mobilnímu internetu, pevnému bezdrátovému připojení nebo videohovorům se 3G síť staly první masověji využívanou generací mobilních sítí. Používáním systému UMTS se zvýšila přenosová rychlost na 2 Mb/s pro stojící objekty a až na 350 kbit/s nebo i více pro pohybující se objekty. Systém využíval frekvence v pásmu 2000 MHz. Síť třetí generace byly také nadále vylepšovány a na konci roku 2008 byla představena síť LTE, u které opět došlo k navýšení přenosových rychlostí. Někdy tato síť bývá označována jako mezistupeň mezi třetí a čtvrtou generací. [2.] [3.]

2.4 Síť čtvrté generace 4G

V roce 2011 přichází na scénu již čtvrtá generace mobilních sítí, která je vylepšením sítí LTE a je označována jako LTE-Advanced. Ve čtvrté generaci došlo k výraznému navýšení přenosových rychlostí díky úplnému přechodu na přepínání datových paketů. U LTE se rychlost pohybuje okolo 100 Mb/s a síť LTE-Advanced by měly být schopny dosáhnout hodnoty i 1 Gbit/s, v současnosti se však hodnoty spíše blíží 300 Mb/s. Síť čtvrté generace jsou současným standardem mobilních sítí a ještě více urychlily rozmach chytrých telefonů a využívání vysokorychlostního internetu i právě v průmyslové výrobě. Jsou využívány

k získávání dat z různých strojů a zařízení, navigaci automobilů pomocí GPS nebo sdílení videí, a to vše při poměrně vysoké bezpečnosti. GSM síť pro LTE a 4G síť funguje na frekvencích od 800 MHz až po 2100 MHz. [2.] [3.]

2.5 Síť páté generace 5G

Již při zavádění čtvrté generace bylo zřejmé, že nebude schopna do budoucna plně podporovat stále narůstající počet připojovaných zařízení a zvyšujících se nároků. 5G není jen další vývojový stupeň mobilních sítí ale celková inovativní změna síťové architektury. Na mobilním komunikačním systému páté generace se pracuje již od roku 2008, kdy byl vytvořen jihokorejský program výzkumu a vývoje 5G. V dalším roce mnoho firem zahájilo rané studie na technologie spojené 5G sítěmi. Mezi hlavní lze považovat společnosti Huawei a Samsung. Následně Mezinárodní telekomunikační unie stanovila hlavní vize a cíle pro technologie 5G jako IMT-2020 a Partnerský projekt třetí generace (3GPP) začal připravovat standardy. Po testovacích fázích se Jižní Korea stala v dubnu 2019 první zemí, která spustila komerční 5G síť. V den zahájení bylo přidáno více než 40 000 uživatelů [2.] [4.] Jen o pár hodin později byla první 5G síť spuštěna také ve Spojených státech amerických, které postupně následovaly další země. Hlavním dosavadním cílem 5G sítě je pomoci sítím čtvrté generace s případným náporem a postupně zvětšovat pole působnosti v následujících letech.

3 Standardy 5G

Dříve se standardy v telekomunikačním průmyslu lišily podle toho, v jaké zemi se právě člověk nacházel, nebo jaký výrobce standardy vyvíjel. Dnes jsou však tyto standardy již globální, a tak se lidé nemusejí obávat toho, že by jejich telefony nemusely fungovat v některých jiných zemích s jinými standardy. Globální standardy však nepřinášejí výhody pouze běžným uživatelům, ale také společnostem, které jsou schopny hromadně vyvíjet a vyrábět nové technologie za nižší ceny. Vzniká tak ale i větší konkurence mezi výrobci, aby vyráběli co možná nejkvalitnější zařízení za nejnižší ceny. V roce 2015 ITU v reakci na budoucí požadavky trhu připravila cíle pro 5G síť. ITU vytvořil takzvaný IMT 2020, aby definovala požadavky na technologie 5G. [5.]

3.1 Požadavky IMT-2020

Tabulka 1: Požadavky IMT na 5G [6.]

Přenosová rychlost	Špičková přenosová rychlost	downlink – 20 Gbit/s uplink – 10 Gbit/s
	Uživatelská přenosová rychlost	downlink – 100 Mbit/s uplink – 50 Mbit/s
Latence	1 ms pro URLLC 4 ms pro eMBB	
Hustota připojení	1 000 000 zařízení na km ² pro mMTC	
Mobilita (rychlost pro předání spojení)	500 km/h	
Plošná provozní kapacita	10 Mbps/m ²	
Spolehlivost	99,999 %	
Šířka pásma	100 MHz	

3.2 Partnerský projekt třetí generace 3GPP

Dříve existovalo mnoho normalizačních organizací, ale dnes je tou největší 3GPP, který zahrnuje přibližně 500 různých zástupců z řad výrobců zařízení, poskytovatelů mobilních služeb a mezinárodních výzkumných institucí. Organizace se dále dělí na určité skupiny, například pro vývoj bezdrátového přístupu RAN nebo služby a systémové aspekty, které mají dále menší podskupiny pro vývoj na praktické úrovni. 3GPP pořádá setkání organizací a výrobců za účelem vývoje standardů, které odpovídají potřebám různých průmyslových odvětví a společnosti všeobecně. Dále také stanovuje standardizační plán, kdy a jaké části technologie budou připraveny k využití. První fáze technických norem pro 5G byla vydána v roce 2017 a nese označení Release 15. Následně byla vydána Release 16 a nyní se nacházíme v období před Release 17. Její vydání se předpokládalo na rok 2021, avšak díky současné situaci ve světě a nerealizovatelnosti pořádat setkání osobně, ale pouze online nabrala zpoždění oproti plánu. [5.]

3.3 Přínos jednotlivých Release

3.3.1 Release 15

První fáze technických norem využívá především upravené stávající sítě čtvrté generace pro eMBB. Mezi úpravy se řadí nový hardware pro podporu nových 5G frekvenčních pásem, úprava softwaru a rozmístění anténních systémů pro MIMO. Kontrolní protokoly zůstávají stejné jako v případě LTE. Tento model nasazení využívající již současnou infrastrukturu sítě LTE se označuje jako NSA a původně měl být pouze mezistupněm mezi LTE a 5G. NSA přinese zvýšení přenosových rychlostí, kapacity a postupně směřuje k nižší latenci. V metodě nasazení NSA je možnost se současně připojit k LTE i 5G NR tak, aby to vyhovovalo požadavkům trhu na začátku zavádění 5G sítě. Druhý standardizovaný model nasazení SA je optimalizovaný pro jiné potřeby než NSA a je již plnohodnotnou 5G sítí. Konfigurace SA umožňuje plně využít vlastnosti NR i schopnosti nové základní síťové architektury a výrazněji tak navýšit přenosové rychlosti a kapacitu sítě. Mezi další schopnosti se řadí například dělení sítě nebo snižování latence. Tento model je již více vhodný pro průmyslové využití, například v robotice nebo k plnému využití internetu věcí. NSA a SA však v praxi budou nejspíše dlouho koexistovat díky složitosti vybudování infrastruktury pro SA metodu. Další technologie obsažené v Release 15 jsou například vylepšení API zabývající se přístupem třetích stran ke službám 5G, MTC, IoT, V2X nebo funkce související s WLAN. [7.]

3.3.2 Release 16

Druhá fáze vylepšuje funkce NR z Release 15 a zavádí další funkce více se zaměřující na průmyslový sektor, a tím pádem na latenci v rámci uRLLC. Nejspíše nejdůležitější uvolněnou funkcí v Release 16 je network slicing, která je dále rozvedena v sekci zabývající se flexibilitou sítě. Dále se Release 16 začíná věnovat například satelitnímu přístupu 5G, streamovacím službám nebo mobilnímu komunikačnímu systému na železnicích a moři. [8.]

3.3.3 Release 17

V naplánované Release 17 budou nadále pokračovat vylepšení 5G systémů a podpora nových služeb. Například podpora zařízení s více SIM kartami, vylepšené relé pro energetickou účinnost a rozsáhlé pokrytí. Obsažena by měla být i druhá fáze network slicing a bližší přiblížení edge computingu ve využití v kampusových privátních 5G sítích. V neposlední řadě je pozornost věnována například NTN, kdy 5G síť bude realizována pomocí satelitů nebo jiných létajících těles tak, aby byla schopna pokrýt i hůře přístupná místa, která jsou pro pozemní infrastrukturu nedostupná. [9.] [10.]

4 Současné sítě vs 5G

Stále používané nejstarší 2G sítě se postupně blíží svému konci. Do roku 2025 se jejich podíl na trhu předpokládá menší než 4 %. Současně nejvíce používanými sítěmi jsou 3G sítě LTE a 4G sítě LTE-Advanced, které pokrývají více než ¾ trhu. U 3G sítí se předpokládá, že budou nadále více nahrazovány, ať už 4G sítěmi, nebo rovnou sítěmi 5G. Síť čtvrté a páté generace stále pokračují ve svém vývoji tak, aby se co možná nejlépe doplňovaly. 5G sítě ve svém počátku využívají infrastrukturu právě 4G sítí, které jsou pouze drobně modifikovány na podporu určité části 5G. Předpokládá se, že více či méně se tyto dvě generace budou doplňovat až do roku 2030. [6.]

4.1 Porovnání parametrů

a) Přenosové rychlosti

U současně používaných sítí LTE nebo 4G (LTE-Advanced) se teoreticky maximálně dosažitelné hodnoty pro downlink pohybují okolo 100 Mbit/s pro LTE a pro 4G je tato hodnota stanovena až na 1 Gbit/s pro nepohybující se objekty. 5G sítě by měly přinést špičkové rychlosti pro downlink až 20 Gbit/s, což by znamenalo dvacetinásobné navýšení. Jedná se však pouze o porovnání maximálních hodnot, které jsou v reálném světě pro běžné uživatele nejspíše nedosažitelné. [6.]

b) Latence

Ve srovnání s 4G sítěmi by 5G sítě měly přinést až desetkrát menší latenci. Konkrétní posun opět udávaný pro maximální hodnoty by byl od 10 ms u 4G sítí až k 1 ms u 5G. [6.]

c) Kapacita sítí

Požadavky na 5G sítě také zahrnují až 1000x větší kapacity sítě než u současně používaných generací. Tak, aby byly schopny do budoucna podporovat stále narůstající počet připojených zařízení a konektivitu mezi nimi navýšit až stokrát. [6.]

d) Rádiové spektrum

K dalším změnám dojde u využívání nových částí rádiového spektra. 5G sítě budou využívat převážně 3 části. První část bude využívat dlouhé vlny pod 1 GHz. Druhá část se zaměřuje na střední vlny v rozsahu pod 6 GHz, kde se nejvíce počítá s využitím spektra od 3,3 do 3,8 GHz. Současné sítě využívají pouze první a druhou část spektra, a tak největší změnou bude využívání krátkých (mikro) vln nad 24 GHz v rámci třetí části. Změna nastane i v používání kmitočtu jakožto technologie komunikace. Nahrazena bude metodou tzv. beamformingu, která bude přiblížena v další kapitole zabývající se kritickými technologiemi pro 5G. [11.]

4.2 Další změny

Dalšími požadovanými změnami na 5G sítě oproti stávajícím je například redukce využívané energie až o 90 % nebo prodloužení výdrže zařízení, které ke svému napájení používají výhradně baterie až na 10 let. Jedná se především o různé senzory. Tyto změny by měly podpořit efektivnější využívání energie, a tím přispět k více ekologicky přívětivější 5G síti.

Mezi další změny lze zařadit snahu vést co největší část komunikace pozemními optickými kabely. U současných sítí jsou kabely používány k přenosu dat mezi jednotlivými základovými stanicemi, ale v mnohem menší míře, než je tomu v plánu u 5G sítí, které hodlají plně využívat výhod optických kabelů, jako jsou například rychlejší přenos a odezva dat.

Optické kabely také poskytují větší kapacitu než přenos přes rádiové vlny, které by ideálně byly používány pouze na nejmenším zbývajícím úseku. Nicméně položení takového množství optických kabelů by byl velmi nákladný proces, a tak převážně největší plochy bude pokrývat právě přenos přes rádiové vlny. K zajištění požadované latence tak bude zapotřebí provádět co nejvíce procesů co nejbližší uživateli na konkrétních 5G zařízeních. [11.]

Jednou z dalších změn je také podpora mnohem přesnější lokalizace polohy pro mobilní zařízení, než tomu bylo u předešlé generace.

5 Jednotlivá spektra 5G sítí

Jak již bylo zmíněno, 5G sítě budou fungovat v rozsahu 3 základních spekter. Toto rozdělení je zapotřebí, aby byly dostatečně podporovány všechny funkce, které mají 5G sítě poskytovat. Jelikož vysokorychlostní širokopásmové služby a například velmi nízké latence potřebují ke správné funkci odlišná pásmová spektra. Bude také zapotřebí, aby vlády a jiné regulační orgány příliš uměle nenavyšovaly ceny použitelného spektra pro dané krajiny a nezabránily tak dalším investicím do sítě jako takové. Ze stejného důvodu by měly být udělovány licence operátorům na dlouhodobé období. Licencovaná spektra dovolí pokrýt širší oblasti a také zaručí kvalitnější služby. Nelicencovaná spektra ve frekvenci 2,4 a 5 GHz budou sloužit jako odlehčení, pokud by docházelo k přetěžování sítí v určitých oblastech, aby byla maximálně limitovaná rizika spojená s přetížením sítě. K zamezení rušení mezi jednotlivými stanicemi budou 5G sítě využívat dynamický duplex s časovým dělením (TDD). TDD přiděluje využívané šířky rádiového spektra a jednotlivé signály odděluje tím, že každý z nich vysílá pouze v určitý daný čas. Využívání TDD tak napomáhá k lepší efektivitě využití daného spektra. Bude také potřeba zajistit, aby sítě pracující ve stejném frekvenčním rozsahu a oblasti byly synchronizovány. [11.] [12.]

5.1 Pásmo pod 1 GHz

Pásmo pod 1 GHz, také nazývané jako sub-1 GHz, je spektrum, u kterého jsou převážně využívána pásma 700 MHz nebo 800 MHz. Šíření signálu je v tomto pásmu výborné, proto bude sloužit k pokrytí velkých oblastí napříč městskou, příměstskou i venkovskou oblastí. Díky dobré kapacitě a prostupnosti překážkami je vhodné pro IoT zařízení uvnitř budov, která nepotřebují rychlou odezvu. Na druhou stranu nepodporuje velké přenosové rychlosti. Přenosová rychlost je limitována přibližně na 100 Mbit/s. [12.]

5.2 Pásmo pod 6 GHz

Pásma v rozsahu pod 6 GHz nabízejí dobrou kombinaci mezi těmito třemi pásmy a budou tak převážně využívána v městských a příměstských oblastech. Při poskytování slušného pokrytí a kapacity nabízejí také navýšení přenosových rychlostí až do 1 Gbit/s. Jelikož rozsah úměrně klesá s rostoucí frekvencí, většina komerčních 5G sítí bude spoléhat na spektrum v rozmezí od 3,3 do 3,8 GHz. Pro udržení kvality služeb 5G bude třeba přidat další pásma v rozmezí od 1,8 do 2,6 GHz. Většina současně spouštěných sítí ve světě funguje právě na pásmu sub-6 GHz. [12.]

5.3 Pásmo nad 6 GHz

Největší změnou od předchozích generací je využívání pásma vyššího spektra 6 GHz nebo více. Pásma pod 6 GHz využívá čím dál tím více zařízení, a proto jsou již hodně zaplněna a mohlo by docházet ke zpomalování přenosu. Aby 5G sítě mohly docílit požadovaných hodnot na rychlost přenosu dat a latenci, musely přistoupit k využití tzv. „mmWave“, vln, které se díky krátkým vlnovým délkám nazývají milimetrové a které lze měřit v milimetrech. Jejich délka se pohybuje od 1 do 10 mm. Tyto vlny se nacházejí ve vyšších frekvencích a dříve byly považovány za nevhodné pro mobilní komunikaci. Jako milimetrové vlny jsou označována pásma od 30 do 300 GHz, [13.] ale pro 5G sítě to budou primárně pásma okolo 26 GHz. Dále budou k využití spektra 42 GHz, 50 GHz a 66 GHz [12.] Dříve byly tyto frekvence používány pro jiné účely než pro mobilní sítě, například pro radarová zařízení. Milimetrové vlny mají schopnost přenášet velké množství dat v řádech gigabitů při nízké latenci velkému množství uživatelů. Proto se s jejich aplikací počítá primárně ve městech v rámci pevného bezdrátového připojení k internetu a mohly by tak

konkurovat stávajícím systémům Wi-Fi, které toto poskytují. Tyto výhody však s sebou přinášejí také problémy. Milimetrové vlny mají velmi omezený dosah v řádu maximálně několika stovek metrů a špatnou propustnost objekty nebo například i silným deštěm. Kvůli špatné propustnosti nebudou poskytovat připojení z venku dovnitř budov, ale budou se odděleně vyskytovat v obou těchto prostředích. Pro vykompenzování těchto problémů jsou třeba změny ve struktuře sítí i v samotných technologiích.

Potenciální náhradou milimetrových vln by například v dalších generacích mohlo být využívání VLC, neboli komunikace zprostředkované viditelným světlem. Ta by využívala ještě vyšší pásma mezi 385-790 THz. Posun ještě do vyšších pater spektra umocňuje výhody, ale i nevýhody s tím spojené. VLC by mělo být schopné poskytnout přenosové rychlosti blízké až rychlosti optických vláken, avšak jejich dosah je ještě dvojnásobně menší než u milimetrových vln. Tento malý dosah a velká náchylnost ke zastínění signálu nepříznivými povětrnostními podmínkami povedou k jejich využití zejména uvnitř budov. Nespornou výhodou oproti milimetrovým vlnám je ale především nákladová efektivnost. VLC využívá LED fotodiody, díky kterým jsou pořizovací i provozní náklady zřetelně menší, než je tomu u zařízení, která využívají k přenosu milimetrové vlny. Mezi další výhody oproti milimetrovým vlnám můžeme řadit využívání velkého nelicencovaného spektra v rámci terahertzových vln, a tím docílit, že se VLC nebude rušit s jinou rádiovou technologií. Technologie VLC jsou však zatím na počátku vývoje a jejich využití se směřuje spíše na síť šesté generace. [14.]

6 Klíčové technologie umožňující 5G síť

Aby mohly být síť 5G uvedeny do provozu. Bylo zapotřebí vyvinout nebo vylepšit technologie, které toto umožní. Jedná se především o technologie Small Cell, Massive MIMO, Beamforming a potenciálně také Full duplex.

6.1 Small Cell

První technologií, která pomůže k šíření milimetrových vln jsou „Small Cell“, neboli malé buňky. Jedná se o malé, rádiové, nízkoenergetické přístupové uzly, které jsou schopny pracovat jak v licencovaném, tak i nelicencovaném spektru. Existuje několik druhů malých buněk, které se liší podle případu použití a byly původně navrženy pro malé objekty, kde se využívá malého počtu kanálů. Jejich dosah může být od 10 metrů v městských oblastech až po nižší řády kilometrů ve volném prostoru [15.]. Jelikož milimetrové vlny nejsou schopny cestovat na velké vzdálenosti, bude zapotřebí zhustit pokrytí právě těmito přístupovými uzly. Díky jejich malým rozměrům mohou být umístěny prakticky kdekoli od střech budov až po lampy veřejného osvětlení, pokud to samozřejmě umožní města. Například Praha, jenž je na seznamu UNESCO, by v některých historických částech města mohla mít problém s umístěním těchto přístupových bodů na veřejných prostranstvích. Při předpokládaném hustém pokrytí bude docházet k tomu, že při pohybu bude zařízení automaticky přepínat mezi jednotlivými stanicemi, aby bylo zajištěno stálé připojení, když zrovna signál z jedné stanice zakryje některý objekt, kterým milimetrové vlny neprostopují. Jedná se o náročný úkol z hlediska vybudování požadované infrastruktury, ale jejich využití by mělo přinést největší přínos. Tyto malé stanice lze použít pro poskytování bezdrátového připojení v budovách i venku.

Pro malé buňky bude důležité využívání tzv. backhulu. Jedná se o část sítě, která propojuje buňky a základové stanice s páteří sítě. Tato komunikační spojení mohou být realizována pomocí kabelů, ať už jako optická nebo měděná. Nejčastější způsob propojení je však skrze rádiová spojení. V tomto případě se jedná o využívání bezdrátových mikrovlnných spojů, které zajistí spojení s řídicími prvky sítě v páteří části. A právě backhaul realizovaný pomocí rádiového spojení by mohl být kritickým místem 5G sítě, jelikož s narůstajícími požadavky na přenosovou kapacitu by současná zařízení nemusela být schopná zajistit požadované nároky. Ačkoli je pro 5G síť ideální přepravovat data pomocí optických kabelů, které jsou schopny tyto nároky plnit, ne vždy je to možné nebo cenově výhodné. Proto bude zapotřebí pro rádiová spojení zajistit dostatečně velkou šířku pásma a výrazně zkrátit přenosovou vzdálenost, ideálně do 2 km. [16.]

6.2 Massive MIMO

Před vynalezením systémů MIMO byly používány systémy pouze s jedním vstupem a výstupem, které ale mohly podporovat jen velmi omezený počet uživatelů. Proto bylo zapotřebí začít využívat systémy s více vstupy a výstupy. Systémy MIMO se již využívají v současných bezdrátových systémech LTE a 4G, avšak v sítích 5G má dojít k výraznému navýšení jednotlivých antén na základové stanici, aby síť byla schopna zvládat velký datový provoz a více uživatelů. Účelem systému MIMO je odesílat a přijímat data ze základové stanice více uživatelům ve stejný čas. Na každé této základové stanici se dále nachází mnoho jednotlivých antén. Současné síť využívají buď 4 nebo 8 jednotlivých antén na základové stanici. Pro systémy 5G se počet antén může pohybovat od 64 až případně po tisíce antén na základové stanici, proto se tato technologie nazývá masivní, aby bylo případně dosaženo toho, že na základové stanici je více antén než uživatelů využívající tuto stanici. Za anténu se

považuje počet připojení do určitého pole, které dále obsahuje jednotlivé vyzářující prvky. Lze připojit buď jednotlivé prvky samostatně, nebo připojit skupinu těchto prvků přes jedno připojení, neboli anténu. Tento počet prvků je stejný jak pro 8 antén, tak pro 64 antén. Konkrétně je to 32 prvků pro jednu polarizaci, tudíž celkově 64 prvků v jednom poli. Dojde jen ke změně orientace daných prvků více na šířku než výšku, jak je tomu dnes, a bude navýšen počet připojení do tohoto pole, aby jednotlivé prvky bylo možné lépe ovládat. Masivní tak vyjadřuje zvýšený počet antén (připojení do pole s prvky) a ne tak úplně nárůst velikosti daného pole. Se zvyšující se frekvencí vln navíc klesá velikost jednotlivých vyzářovacích prvků, takže velikost celého pole se také snižuje. Více antén také umožní směřovat signál určitým směrem, a to ne pouze horizontálně, ale také vertikálně technologií beamforming. Mezi hlavní výhody masivních MIMO systémů patří, že dokáží poskytnout až 10x větší spektrální účinnost než současné MIMO systémy. Zároveň jsou méně energeticky náročné, protože se antény zaměřují na určitou konkrétní část díky beamformingu a nemusejí tak přivádět více výkonu do stanice, aby signál dosáhl s dobrou kvalitou až k uživateli. Větší počty antén v systému také přispívají ke zlepšení latence a spolehlivosti připojení, jelikož mají zařízení na výběr z více možností, k jaké základní stanici se připojit [17.]

6.3 Beamforming

Beamforming je technologie, která umožňuje směřovat jednotlivé signály, například pokud jde o přenos nebo příjem signálu přímo na uživatele, kteří právě využívají připojení k dané základní stanici. Pokud vezmeme jeden samostatný vyzářující prvek z antény, tak jeho signál se bude rozpínat všemi směry rovnoměrně. Pokud však vezmeme dva nebo více těchto prvků, zesílíme tak signál určitým směrem a zeslabíme v ostatních směrech. Vytvoříme tak paprsek, který má určitý tvar a je směřovaný konkrétním směrem. Díky zesílení od více vyzářujících prvků také dosáhne dále a zároveň s větší energií. Mít zaměřený posílený paprsek a utlumené jeho okolí nám přinese mnohem menší interferenci signálu než u systémů vysílajících signál všemi směry, kde mnohem více dochází k ovlivňování a prolínání vln. Je důležité, abychom byli schopni daný paprsek také natáčet různými směry a nesměřoval pouze před sebe jedním směrem. Toho je docíleno tím, že do každého jednotlivého vyzářujícího prvku přivedeme stejný signál, ale v jiný čas a s rozdílnou amplitudou tohoto signálu. Dojde tak k zesílení paprsku jiným směrem než pouze přímo před sebe. Bohužel však tvar paprsku není ideální, kromě hlavního paprsku, který chceme vytvořit, vzniknou také postranní ve většině případů nechtěné paprsky, které by mohly způsobovat interferenci. Tyto nechtěné postranní paprsky jsou tím menší, čím více vyzářujících prvků použijeme k vytvoření hlavního paprsku. Také lze rozdělit hlavní paprsek na 2 nebo více různých paprsků, ty se dají využít, když chceme paprsky směřující různými směry a k různým uživatelům ve stejný čas. Energie obsažená v těchto paprscích je stejná jako v jednom paprsku, ale díky rozdělení do více paprsků tyto paprsky dosáhnou na menší vzdálenost. Tento proces se nazývá prostorový multiplex a je možné vytvořit takové množství paprsků, kolik máme antén. [18.]



Obrázek 2: Beamforming [46.]

Formování paprsků se docílí 3 základními možnostmi, a to analogově, digitálně a hybridně. Nejstarší a nejvíce využívané je analogové formování paprsků. Paprsky jsou směřovány pomocí analogových fázových přepínačů, každému vyzařujícímu prvku přiřadíme stejnou amplitudu, ale fázově pozměněnou, a tím docílíme natáčení hlavního paprsku. Hlavní nevýhodou je, že jsme schopni udělat pouze jeden hlavní paprsek, který samozřejmě ne vždy může mít přímou cestu k danému zařízení. Zatímco digitální beamforming provádí tvarování daných paprsků skrze procesor, a tím přináší větší flexibilitu do algoritmů tvořící paprsek. I když digitální beamforming dosahuje vyšší spektrální účinnosti, jeho realizace může být dost nákladná kvůli složité architektuře. Proto vznikl hybridní beamforming, který obě metody propojuje tak, že z digitální metody bere předkódování a z analogové tvorbu paprsků, aby se za snížených nákladů dosáhlo větší kapacity a spektrální účinnosti než u analogového řešení. Když již máme flexibilitu, která nám umožňuje natáčet jednotlivé paprsky, je důležité také zjistit jakým směrem daný paprsek natočit. Toho by mělo být dosaženo tak, že jednotlivé zařízení, například mobilní, nejprve vyšle jeden signál na dané frekvenci základové stanici, kde všechny antény změří tento signál a vyhodnotí, kde se dané zařízení nachází, a na té stejné frekvenci pak zasílají data zpět uživateli. K tomu je zapotřebí již zmíněný dynamický duplex s časovým dělením. [20.]

6.4 Full Duplex

I když se počítá s využitím TDD, což je ve své podstatě poloviční duplex, tak by systém mohl snadno podporovat i plně duplexní technologie. Plný duplex je využíván u bezdrátového přenosu a příjmu dat ve stejném frekvenčním pásmu současně. Bylo zvykem používat dvě různé frekvence pro příjem a odesílání dat, aby nedocházelo k rušení. Pro zdvojnásobení kapacity sítě by však bylo vhodné využívat pouze jedno pásmo. A přesně toho využívá plný duplex FDD, kdy je možné přijímat a zároveň odesílat data na stejné frekvenci. Systém TDD také využívá pouze jednu frekvenci, ale je zapotřebí odesílaná a přijímaná data oddělovat tím, že každý z nich vysílá pouze v určitý daný čas tak, aby se na cestě nestřetly a nedošlo tak k interferenci. K uskutečnění plného duplexu jsou využívány vysokorychlostní spínače, které jsou vlastně křemíkové tranzistory tak, aby se daná data mohly na stejné frekvenci minout i ve vysoké rychlosti. Je však zapotřebí zmírnit vlastní rušení, které u plného duplexu vzniká, aby bylo možné tuto technologii plně využívat. Již bylo navrženo několik speciálních řešení, které toto rušení zmírní, ale bylo by zapotřebí několik z těchto technologií kombinovat, aby rušení bylo dostačující. [21.] [20.]

7 Flexibilita sítí

7.1 Cloud network

V telekomunikačním průmyslu u 4G a 5G sítí je snaha se pohnout od dedikovaných datových center směrem k využívání cloudové sítě serverů, které mezi sebou sdílejí svoje zdroje tak, aby byly dostupné odkudkoliv a pro jakákoliv zařízení. S nárůstem přenosových rychlostí už tak nadále nemusejí být operace prováděny na hardwarovém vybavení, ale mohou probíhat v cloudu. Cloudy změny způsob, jakým jsou sítě zaváděny a provozovány. Přechod ke cloudovým sítím přináší mnoho výhod. Jednou z výhod je, že cloudové sítě nabízejí škálovatelné uložení, které je schopné navýšit svoji kapacitu při velkém vytížení sítě na rozdíl od fixních center. Přinášejí tak potřebnou flexibilitu, kdy je možné přemístit zdroje v důsledku náhlé potřeby, což u tradičních sítí není možné. Poskytovatel tak může poskytovat lepší služby a ještě ušetřit investiční náklady spojené s pořízením a modernizací fyzického majetku a také část provozních nákladů. Škálovatelné jsou také služby, které jsou v rámci cloudu nabízeny, a je tak možné je upravit dle svých potřeb a platit pouze za ty služby, které využíváme. Cloudy také podporují automatické zálohování dat nebo aktualizace jednotlivých aplikací. Cloud computing tak na internetových serverech poskytuje technologie ve formě služeb či jednotlivých programů. Typů cloudových služeb může být mnoho například SaaS, kde uživatel využívá aplikace, které není potřeba stahovat a instalovat na konkrétní zařízení, lze je přímo spustit na cloudu a o správu, údržbu a uchovávání dat se stará poskytovatel daného cloudu. Mezi další služby patří například PaaS. Tyto služby využívají organizace a firmy, které od dodavatele chtějí poskytnout pracovní prostředí, například pro tvorbu webových aplikací. Cloudové služby se tak staly velmi atraktivní technologií jak pro soukromé uživatele, tak především pro podniky. Cloudy mohou být veřejné, ale i soukromé. Ty veřejné může využívat kdokoli a jednotlivé servery vlastní poskytovatel daného cloudu. Ovšem ty soukromé využívá pouze konkrétní firma a nesdílí je se žádnými dalšími subjekty. Soukromé cloudy však bývají často hodně nákladné na vybudování vlastní infrastruktury, která by byla schopna poskytnout potřebný výpočetní výkon. [22.][23.]

7.2 NFV/SDN

7.2.1 NFV

Jelikož se síť přesouvá do cloudu, je třeba nahradit současná zařízení v tradičním hardware, která jsou určena k provádění velmi specifických funkcí v dané síti. Například sem patří zařízení jako Firewall a mnoho dalších. Hlavní nevýhodou současných zařízení je nedostatek rychlosti, jakým jsou dané funkce nasazovány, a především nedostatek škálovatelnosti. Virtualizace síťových funkcí tyto dedikované zařízení převádí na obecné vysoce výkonné servery, které se umí aktualizovat a používají software k poskytování daných virtualizovaných síťových funkcí. Tyto servery, přepínače nebo uložení jsou pak umístěny do datových center nebo v provozních prostorách uživatelů. Virtualizované funkce jsou nazývány VNF. NFV je tedy ekvivalentem fyzických zařízení jen tyto dané specifické funkce provádí pomocí softwaru v cloudovém rozhraní. NFV může fungovat například jako virtuální router nebo jako přepínač, což vede ke značnému snížení nákladů. Potenciálně tedy lze oddělit jakoukoliv funkci od fyzického hardware. Pokud by tedy zákazník chtěl přidat novou funkci, tak je pro poskytovatele mnohem jednodušší tuto funkci dodat v kratším čase. Mezi další výhody, které přináší virtualizace, můžeme zařadit například minimalizace spotřeby energie.

Architektura NFV obsahuje několik hlavních částí. První částí je vrstva, kterou nazýváme NFVI. Přidané písmeno I ve zkratce symbolizuje infrastrukturu. Tato vrstva tak nabízí virtuální prostředky, které podporují virtualizované funkce a také samotné hardwarové prostředky, jako jsou datová úložiště nebo výpočtový hardware. Druhou vrstvou je již zmíněné VNF, které hostuje již samotné aplikace, které již běží jako software na NFVI. Poslední vrstvou je tzv. MANO vrstva, která řídí a provádí orchestraci, neboli automaticky koordinuje zdroje a životní cyklus fyzických nebo softwarových prostředků v celé NFV, jako je strategie řízení, korelace nebo rozšiřování. Všechny výhody, které poskytuje VNF, jsou tak vykompenzovány mnohem větší složitostí systému.[24.] [25.]

7.2.2 SDN

Díky stále se zvyšujícím výpočetním výkonům počítačů oproti hardwarovým zařízením na vytváření sítí je nyní možné přistoupit k softwarovému řízení jednoduchých uzlů v síti. Softwarově definované sítě SDN pomáhají řešit problémy spojené s přístupy při vytváření sítí, a tak zvyšují pružnost celé sítě a zároveň snižují náklady na zařízení. Toho je docíleno díky využití softwarových aplikací, které nahrazují drahé, specializované síťové hardwary. V běžných řešeních provádí řízení a směrování každý síťový uzel nezávisle na ostatních. V SDN je vrstva řízení oddělena od uzlů, a tak je směrování řízeno softwarovými algoritmy. Tato vrstva řízení sbírá informace o stavu jednotlivých uzlů a je tak schopna automaticky směrovat síťový provoz. Takto centralizované řízení může přinést mnoho výhod, jelikož díky urychlenému hledání problémů u jednotlivých uzlů již při vstupu do prvního uzlu víme, přes jaké další uzly bude spojení realizováno. To přináší snížení nákladů a softwarové řízení z centralizované vrstvy je mnohem jednodušší a zároveň je snazší jej modifikovat, jelikož se již nemusí modifikovat každý uzel zvlášť.

SDN a NFV mohou fungovat nezávisle na sobě, ale právě jejich současné aplikování přináší ty největší výhody, jelikož se obě technologie doplňují. Aplikací těchto technologií se docílí snížení jak pořizovacích, tak i provozních nákladů. Celé řízení sítě se stane mnohem přehlednější a umožní mnohem flexibilněji vytvářet nové prostředí a služby. [24.] [26.]

7.3 Network slicing

Jedním z nových nejdůležitějších inovativních prvků v architektuře 5G je „network slicing“, neboli jakési dělení a vrstvení sítě na jednotlivé řezy. Každý jeden řez vypadá jako samostatná síť, která může mít vlastní síťovou architekturu. „Z pohledu mobilního operátora je řez sítě nezávislá end-to-end logická síť, která běží na sdílené fyzické infrastruktuře, schopné poskytovat sjednanou kvalitu služeb“[27.]. Operátoři tak budou moci poskytovat jednotlivé řezy sítě na míru jednotlivým podnikům. Mezi specifické faktory pro jednotlivé řezy patří například rychlost přenosu dat, latence, spolehlivost nebo také zabezpečení a jiné služby. Zákazník si tak bude moci vybrat nakonfigurování řezů tak, aby řešení splňovalo konkrétní požadavky pro jednotlivé aspekty ve výrobě. Jeden síťový řez může poskytovat služby s nižší úrovní zabezpečení, ale vysokou kapacitou sítě mMTC a další na druhou stranu vysoké zabezpečení, nízkou latenci a precizní spolehlivost uRLLC a prosté zdokonalené širokopásmové vysokorychlostní připojení eMBB. Tato flexibilita sítí přinese mnoho výhod, jako je právě přidělování správného množství požadovaných zdrojů podle síťových řezů, což povede k efektivnějšímu využívání těchto zdrojů. Provozovatelům sítí pomůže při snižování výdajů a přispěje k rychlejšímu uvedení na trh právě síťových služeb 5G.

7.3.1 eMBB

Vylepšené mobilní širokopásmové připojení je původně vývojem stávajících služeb 4G, které bude poskytovat rychlejší datové rychlosti, větší kapacity, mobilitu nebo nižší latenci

než současné mobilní širokopásmové připojení. Na eMBB bude spoléhat mnoho věcí jak v běžném, tak v pracovním životě. Mělo by přinést zkvalitnění služeb například ve sledování 360stupňového videa, streamování videa a videí ve velkém rozlišení všeobecně. Také s sebou přinese rozmach zařízení AR a VR, které časem více a více nachází uplatnění ve výrobě. Bude podporovat pracovníky, kteří potřebují přístup ke cloudovým aplikacím, nebo interagují v reálném čase, a umožní jim překlad pro účastníky hovořící různými jazyky. Zaměřena bude také na pracovníky operující mimo firmy, kteří potřebují komunikovat s back office nebo poslouží k bezdrátovému připojení celé inteligentní kanceláře.[28.] [27.]

7.3.2 uRLLC

Ultra spolehlivá komunikace s nízkou latencí uRLLC, je možná tou nejdůležitější schopností 5G sítí pro průmyslovou výrobu. Ale její realizace je také nejnáročnější, jelikož je zcela odlišná od mobilních širokopásmových služeb eMBB. V uRLLC sítích se bude využívat odesílání velmi krátkých zpráv v rozsahu 10 až 100 bitů. Aby uRLLC bylo schopné dosáhnout stabilní latence až 1 ms, bude zapotřebí celková synchronizace všech zařízení na stejnou časovou základnu. Jednalo by se tak o desetinásobné snížení latence oproti současným sítím. Takto výrazné snížení latence má velký význam pro průmyslové automatizace, jako jsou například robotické operace a autonomní řízení. Přejít od automatizovaných strojů využívajících kabelové síťové připojení k bezdrátovému uRLLC by výrazně mohl zvýšit flexibilitu, mobilitu a efektivitu výrobní linky a přinést bezpečnou interakci člověka s robotem. Bez pevného připojení bude možné jednotlivé robotické jednotky přesouvat dle libosti a docílit tak maximální flexibility výroby. Síť uRLLC nepřináší ale pouze nízkou latenci, ale také velmi velkou spolehlivost blízkou 99,999 % což nadále zvyšuje náročnost realizace, protože spolehlivost a nízká latence jsou dva protichůdné požadavky. S využitím uRLLC se počítá i v jiných oblastech, než je průmyslová automatizace, například v lékařství, kde by měla být využita k operacím prováděným na dálku pomocí operativních robotů. Autonomní vozidla také budou spoléhat na nízkou latenci a vysokou spolehlivost uRLLC při komunikaci mezi zařízeními sbírající data z telemetrických senzorů a řídicí jednotkou vozidla.[29.]

7.3.3 mMTC

Cílem této sítě je poskytnout konektivitu velkému množství málo složitých zařízení s nízkým výkonem, kde dochází k výměně informací a ovládání probíhá většinou bez zásahu člověka. Typickým příkladem mohou být senzory v automatizovaném průmyslovém odvětví. Senzory převážně přijímají a vysílají jen malé množství dat, která se odesílají na cloudové servery, aby byla následně analyzována. Data jsou navíc odesílána více méně náhodně. Některé senzory mohou odesílat data často, jiné pouze zřídka. Síť mMTC bude schopna propojit obrovský počet zařízení, počítá se až s 1 milionem připojení na km², což je výrazné navýšení oproti současně využívaným 4G sítím, a tím pádem je označováno za klíčový pokrok od internetu věcí k internetu všeho. Pro připojení takového velkého množství zařízení byla síť navržena tak, aby především poskytovala obrovskou kapacitu, ale byla tolerantní k latenci. mMTC tak bude podporovat vícero komunikací v rozdílných frekvenčních pásmech. Jelikož je většina těchto zařízení napájena z baterií, je také z jedním cílů mMTC prodloužit výdrž těchto baterií až na 10 let díky optimálnímu využívání energie. Je zapotřebí ještě vylepšit pokrytí v prostorách, kde se signál špatně šíří, například v hustém městském nebo vnitřním prostředí. K mMTC se samozřejmě budou moci připojovat i zařízení typu chytrých hodinek, inteligentního osvětlení nebo domácích spotřebičů. Největšího využití mMTC se předpokládá v průmyslovém monitorování, dopravě, zdravotnictví nebo v zemědělství.[30.]

7.4 Edge computing

Edge computing, někdy také v telekomunikacích označovaný jako Mobile Edge Computing, je další technologií neodmyslitelně spojenou s 5G sítěmi, kde výrazně přispívá ke splnění požadovaných vlastností na latenci, jelikož dnešní aplikace jsou čím dál více výkonově náročné a generují značné množství dat. Připojení průmyslových strojů a věcí všeobecně k internetu poskytuje přístup k cenným datům, která jsou nyní k dispozici uživatelům. Avšak tato data je potřeba shromažďovat, zpracovávat a také analyzovat, aby posléze mohla být využita k vývoji vylepšených nebo zcela nových procesů a přispět tak k větší efektivitě ve výrobě. Edge computing lze považovat za rozšíření cloud computingu, kde jsou služby spravovány nebo nastavovány uživatelem nebo externím poskytovatelem na vzdálených serverech připojených k internetu. Lze tak snadno shromažďovat data ze všech potřebných zařízení i těch, které se zrovna nenacházejí například v konkrétním podniku. Na cloudu jsou data shromažďována a analyzována za účelem získání dat potřebných k plánování výroby nebo k optimalizaci výrobních procesů. Cloud computing má však své limity. V posledních letech je možno pozorovat výrazné navýšení automatizace v průmyslových podnicích, a tím pádem i razantní nárůst objemu přenášených dat na cloud. Přičteme-li k tomu i stále se zvyšující nároky na latenci u systémů snažících se operovat v reálném čase, tak se cloud computing stává nedostačujícím, a to i například z hlediska zabezpečení dat. Proto bylo nezbytné pokročit ve vývoji edge computingu, který poskytuje decentralizovanou výpočetní kapacitu strojním datům blíže ke zdroji a umožňuje tak analýzu dat prakticky v reálném čase. Tím, že přesune určitá kritická data a jejich analyzování na „okraj“ sítě přímo na zařízení a neodesílá je rovnou na cloud. Je tak ušetřen čas, který by jinak byl zapotřebí k dopravě dat na cloud. Po ukončení operace, když už nadále nejsou kladeny tak velké nároky na rychlost odezvy zařízení, mohou být data odeslána k úschově na velkokapacitní cloud, kam se nadále běžně budou odesílat sekundární a méně urgentní data. Pro zákazníky tak vzniká mnoho možností, jak toto rychlejší rozhodování využít. S využitím edge computingu je možné získat detailní informace o chodu a výkonu stroje, což je využitelné k jeho prediktivní údržbě tak, aby nedocházelo ke zbytečným časovým ztrátám při prostojích na vysokorychlostních montážních linkách. AGV mohou zpracovávat informace o prostředí přímo v zařízení a předávat je dalším. Včasné rozhodování bude zapotřebí i k zabránění nehod mezi strojem a člověkem nebo také při autonomní jízdě, kde se odhaduje, že autonomní vozidla budou generovat používáním všech senzorů a kamer na vozidle až 3,6 terabajtů dat za hodinu. Rychlá odezva bude zapotřebí hlavně při kritických situacích, kdy auto bude muset okamžitě zabrzdit, aby nedošlo k nehodě. Samozřejmě přichází v úvahu i využití v ostatních dopravních prostředcích, jako jsou například vlaky a letadla. Další oblastí využití může být průmyslová robotická automatizace, kde je žádoucí eliminovat kabelové připojení při zachování, nebo dokonce vylepšení reakčních časů. U systémů pracujících například s rozpoznáváním obličejů nebo monitorováním parkovacích míst nebude zapotřebí dlouhé video, ale bude pouze vyhodnocená informace, kolik aut se na parkovišti nachází. Edge computing také dokáže zvýšit kybernetickou bezpečnost, když zabraňuje ukládání surových dat přímo na cloud. Předem zpracovaná data také přispívají ke snížení zátěže při přenosu na cloud. Ve spojení s 5G sítěmi slibuje edge computing reakce téměř v reálném čase, protože závisí na síťovém přístupu do cloudu, aby z něho mohl přijímat a také na něj odesílat data. Obě technologie se vzájemně potřebují k dosahování nejlépe možných vlastností a bude zapotřebí je společně kombinovat.[31.]

8 Privátní kampusová síť

Podniky mají v zásadě dvě možnosti, jak se připojit k 5G síti. Tou první je připojení do veřejné sítě, která je samozřejmě finančně výhodnější, ale pokud podnik vyžaduje, aby síť splňovala potřebné vysoké nároky na rychlost, latenci a bezpečnost, tak tato možnost pro ně není příliš vhodná. Zejména to platí pro zařízení, která vyžadují bezdrátový přenos dat. Druhou variantou je vybudování vlastní privátní sítě v průmyslovém areálu firmy, kterou lze přesně přizpůsobit daným potřebám podniku. V podstatě mobilní operátor naistaluje mikro vysílače v rámci celého areálu firmy a zajistí i vybudování jádra sítě, které slouží k řízení sítě. Privátní sítě mohou zajišťovat stále pokrytí například ve vzdálených oblastech, kde není pokrytí veřejnou sítí ideální nebo ve špatných provozních podmínkách, kde by mohlo docházet k zastínění signálu. Soukromé sítě fungují v licencovaném spektru, a tak je možné zakoupit licenci buď to od státního regulačního orgánu, či uzavřít dohodu s mobilním operátorem. Lze rozlišovat dvě základní formy privátních sítí, a to nezávislou soukromou síť, která není závislá na veřejném operátorovi, čili neexistuje žádný přístup do veřejné mobilní sítě a na soukromé síti, které fungují ve spojení s veřejnou sítí tak, že je veřejná síť přístupná z té soukromé, ale již ne naopak. Toto řešení je mnoha případech žádoucí, protože některé procesy a aplikace vyžadují přístup k veřejné síti. Mezi tyto procesy můžeme zařadit například sledování materiálu a komponent mířících z a do podniku nebo může sloužit přímo ke komunikaci s dodavatelem a poskytovatelem služeb. Správu takové sítě pak může zajišťovat buď operátor, nebo podnik sám. Ovšem k této variantě většinou přistupují jen velké nadnárodní společnosti, pro které jsou počáteční investice do vybavení zanedbatelné a soustředí se více na náklady spojené s provozem a údržbou, kterou jim ve většině případů bude zajišťovat vlastní technické oddělení. K síti lze připojit všechna zařízení v areálu od výrobních strojů přes AGV zařízení a senzory až k běžným počítačům a tabletům. Vybudování vlastní privátní sítě sebou přináší mnoho výhod, jako je například větší bezpečnost, jelikož jsou data přemísťována a zpracována přímo uvnitř podniku a neputují tak do veřejné sítě, kde je jejich zabezpečení podstatně horší. Síť je také schopna plnit vysoké požadavky na spolehlivost připojení, rychlost, kapacitu připojení nebo také latenci. K čemuž je důležité využívat síťovou výpočetní kapacitu pomocí MEC, která umožní zpracovávat data v místě podniku a sníží tak dobu prodlevy. Na systémové úrovni je možnost využít již dříve zmíněného síťového krájení a rozdělit tak síť na více vrstev s rozdílnými vlastnostmi.[32.] [33.]

9 Možnosti využití 5G sítě v rámci podniku

V této kapitole budou uvedeny základní možnosti využití 5G sítě v podniku, avšak 5G síť se nadále vyvíjí a to s sebou přináší další možnosti, jak jejich vylepšené vlastnosti využít. Síť páté generace jsou vytvořeny se záměrem pomoci zákazníkům uspokojit jejich potřeby převážně v digitální transformaci podniku a zlepšit tak efektivitu a flexibilitu výroby pomocí jediného komunikačního systému. Mohou také sloužit ke zlepšení dohledu na celé prostředí podniku. Síť 5G nejvíce poslouží v řešeních, kdy nelze použít kabelové připojení, jako jsou například automatizované dopravní systémy AGV nebo mobilní roboty, jelikož současná řešení pomocí WiFi nejsou dostačující. Zařízení se potýkají s nedostatkem výkonu a stability připojení k síti, a tak nelze využít jejich plný potenciál. Hlavní hybnou silou k digitální transformaci, a tedy i k implementaci 5G sítí je převážně úspora nákladů a času, tedy aby docházelo co k nejmenším prostojům ve výrobním procesu. K tomu je zapotřebí shromažďovat obrovské množství dat, které jsou v podniku sbírány z různých monitorovacích senzorů, a ideálně je analyzovat prakticky v reálném čase. Technologie 5G proto bude vhodné využít v následujících řešeních:

9.1 Lokalizace a sledování

Pomocí sledování a lokalizace produktů jsme schopni sledovat současný stav i minulý stav produktu během jeho životního cyklu, ať už uvnitř podniku, nebo mimo něj. Tyto systémy na základě shromažďování informací o poloze mohou sloužit k rychlejšímu vyhledávání nebo k optimalizaci tras, po kterých se produkt pohybuje. Může se tak docílit efektivnějšího využití strojů, jelikož na základě získaných dat jsme schopni optimalizovat předávání výrobků mezi jednotlivými pracovišti a zároveň na těchto pracovištích získat údaje o kvalitě produktu. Uvnitř podniku se ke sledování produktu, ručního náradí nebo materiálu nejvíce využívají čárové kódy nebo tzv. RFID čipy. Převážně jsou využívány pasivní RFID čipy, které odešlou signál, což je ve většině případů identifikační elektronické číslo produktu, jakmile k nim doputuje elektromagnetický pulz z čtečky nebo snímače. Čtečky se nacházejí na konkrétní pozici v podniku a jsou propojeny pomocí bezdrátového připojení se systémem ERP. Je možno tak sledovat aktuální polohu, ale také i časové prodlevy, díky kterým lze detekovat úzká místa ve výrobním procesu. Díky běžnému velkému počtu jednotlivých položek a čteček v podniku jsou kladeny zvýšené požadavky na hustotu a spolehlivost připojení. Avšak díky pevné poloze čteček pro toto řešení není důležitá implementace 5G sítě, ale stačí současná řešení, jako je například WiFi 6.

Důležitost 5G sítě nastává převážně až ve sledování mimo podnik nebo při sledování v reálném čase. Do sledování položek mimo podnik lze zahrnout vše mimo výrobní halu. Lze tak sledovat pohyb v rozsáhlých výrobních areálech pomocí GPS nebo mobilního připojení. Pomocí získaných informací lze lépe plánovat výrobu a zamezit tak skladování přebytečného množství materiálu, který na sebe váže finanční prostředky podniku. Ke sledování nákladních vozidel mířících do podniku je třeba zajistit zabezpečené připojení, aby nemohlo dojít například ke krádeži cenného či důležitého materiálu pro výrobu. V takto rozsáhlých prostorech již není možné využívat WiFi zařízení, a tak je vhodné využít 4G síť pro sledování nákladních vozidel a ve výrobních areálech například kampusovou 5G síť. Pro sledování v reálném čase je již 5G síť zcela nejlepší řešení, neboť díky velkému množství sledovaných položek v podniku, jsou kladeny vysoké nároky na latenci, a to převážně na komunikaci mezi stroji ke snížení reakčních časů. V reálném čase tak lze sledovat například pohyb materiálu, AGV zařízení, náradí nebo upozorňovat pracovníky na stav strojů. Pro sledování v podniku v reálném čase je zapotřebí zajistit bezpečné spolehlivé pokrytí signálem, aby nedocházelo k jeho zastínění různými předměty. Síť čtvrté generace již pro sledování v reálném čase nejsou vhodné hlavně kvůli nepřesné lokalizaci uvnitř výrobní haly. Oproti

tomu 5G sítě podporují mnohem přesnější identifikaci polohy, která by se s uváděním nových standardů měla nadále zvyšovat. Mezi další výhody patří možnost připojení velkého množství zařízení, je možno tak sledovat i méně nákladové položky a zařízení při zvýšené výdrži baterie.[3.]

9.2 Autonomní dopravní systémy

Autonomní dopravní vozidla označované jako AGV jsou mobilní roboty, které ke svému pohybu mezi skladovacími a výrobními místy nepotřebují řidiče. Nejvíce jsou využívány v místech výroby, kde dochází k opakovatelnému pohybu materiálu mezi jednotlivými stanovišti výroby. Pomocí AGV systémů tak lze snadno sledovat a kontrolovat pohyb materiálu. Mohou být také využity v případech, kde by doprava pro řidiče byla příliš nebezpečná. Navigace a vlastnosti těchto vozidel se však mohou lišit v závislosti na různých konstrukčních provedeních. AGV tedy mohou být vybavena různými technologiemi pro zvedání nebo uchopení přepravovaného materiálu. Pro navigaci jsou v současnosti nejvíce využívány dopravní systémy s předdefinovanou trasou cesty. K jejich vedení tak slouží skutečná fyzická cesta nejčastěji uskutečněná pomocí magnetických vodičích pásků nebo indukční drahou v zemi, avšak v provozu se pásy mohou snadno zašpinit nebo rovnou poškodit. K navigaci AGV také může být využita navigace pomocí laserů, kde jsou na překážky v areálu připevněny reflexní pásy, které slouží k odrazení laseru zpět k laserovému vysílači umístěnému na vozidle. Získané informace jsou dále porovnány s mapou v AGV, ale zařízení stále sleduje pevnou cestu. Všechny tyto varianty musí být naplánovány již v době plánování celé dispozice výrobní haly nebo skladu a lze tak dopředu zajistit pokrytí signálem pomocí WiFi zařízení. Jejich pohyb po areálu haly je tedy striktně omezen právě jasně definovanou trasou, ale i za těchto podmínek zajišťují nákladově efektivní a bezpečný transport materiálu při úspoře času. V tomto řešení požadavky na síť nejsou příliš vysoké, jelikož celková komunikace je založena na poloze AGV a jednotlivá vozidla mezi sebou nemusejí komunikovat.

Navigaci AGV v areálu může být zajištěna i pomocí nezávislého směřování. AGV pomocí senzorů umístěných na vozidle reagují na překážky v reálném čase a také slouží k navigaci v prostředí. Technologie sloužící k navigaci mohou být například pomocí geografického nebo kamerového vedení. Kamerové vedení používá 360stupňovou kameru, pomocí níž vytváří 3D mapu prostředí a lze také kamery využít k vyhledávání chybějících položek pomocí rozpoznávání objektů. Na rozdíl kamerového vedení geografického vedení detekuje překážky a stěny a pomocí nich určí, kde se zrovna nachází. Největší výhodou těchto systémů je, že se mohou flexibilně pohybovat a reagovat na překážky v prostředí dle potřeby, a tudíž je možno je implementovat již do současné dispozice, ať už výrobní haly nebo skladu. Systémy fungující v reálném čase, avšak kladou větší nároky na komunikaci, převážně na latenci oproti systémům pohybujících se po předem definovaných cestách. Dalším trendem v oblasti autonomních dopravních systémů je centrální navigování celé dopravní flotily podniku. Na rozdíl od řešení, kdy každé jednotlivé AGV zpracovává informace lokálně uvnitř vozidla. K centrální navigaci je tak zapotřebí vzájemná komunikace mezi jednotlivými vozidly, které se na základě shromážděných dat o jejich aktuální poloze a objednávkách mohou plánovat nejkratší cesty pro dodání. Lze také využít systém SLAM neboli simultánní lokalizaci a mapování, kdy jedno zařízení AGV může detekovat překážku na trase a druhé vozidlo již na tuto překážku může reagovat nalezením jiné cesty k cíli. Všechna AGV zařízení tak společně vytváří a aktualizují globální mapu areálu pomocí 3D kamerových senzorů. Centrální navigace ale klade velké nároky na IT infrastrukturu v podniku, poněvadž je třeba zajistit nepřetržité připojení AGV systémů a realizovat analýzu velkého množství dat v reálném čase. Proto již využití WiFi zařízení v těchto případech není vhodné. Pomocí 5G

sítě jsme schopni zvýšit počet připojených AGV při zajištění větší spolehlivosti a zabezpečení rychlejšího přenosu dat.[34.] [35.]

Autonomní dopravní systémy i jiná mobilních zařízení v podnicích se často potýkají s problémem výdrže baterií. U AGV musejí být baterie běžně měněny i několikrát za den. Tato výměna zaměstnává pracovníky prací, která nepřináší žádnou přidanou hodnotu produktům, tudíž by bylo nejvhodnější se jí zcela zbavit. Síť páté generace jsou méně energeticky náročné na zařízení než současné sítě, avšak tato spotřeba energie bude mít spíše vliv na výdrž baterie u malých zařízení, jako jsou například senzory. Řešením pro AGV je bezdrátové nabíjení pomocí elektromagnetické indukce. Díky bezkontaktnímu nabíjení by bylo možné umístit nabíjecí systém v podniku tak, aby korespondoval s procesem výroby.

9.3 Analýza dat a prediktivní údržba

Díky postupné digitalizace továren je získáváno pomocí senzorů a IoT zařízení čím dál tím větší množství dat. Tato data musejí být shromažďována a ukládána v uložištích a posléze analyzována. Čím více dat je sbíráno napříč podnikovými procesy, tím mohou být analýzy dat přesnější a poskytnout nám větší konkurenční výhodu. Podniky využívají analýzu dat převážně k zefektivnění procesů a zvýšení kvality produktu, což samozřejmě sebou přináší i menší náklady, a tudíž větší zisk. Analýzy dat lze rozdělit na tři základní, a to na statistickou analýzu, analýzu dat v reálném čase a také na prediktivní analýzu. Každá analýza vyžaduje rozdílně náročné požadavky na telekomunikační technologie. V případě statistické analýzy si vystačíme se současnými běžně používanými zařízeními, na druhou stranu k prediktivní analýze by bylo nejvhodnější využít 5G.

Využití statistické analýzy není nijak kriticky závislé na rychlosti, většinou se provádí pravidelně v určené době ovšem s časovým zpožděním. Statistická analýza tak nevyžaduje vysoké nároky na latenci, ale s přibývajícím množstvím získávaných dat se zvyšují nároky na počty připojených zařízení a rychlost přenosu. Data jsou zde zpracovávána pomocí centrálního algoritmu, ale proces zpracování může vyžadovat i zásah pracovníka. Lze pomocí ní měřit statisticky měřitelné schopnosti procesu, pro který jsou definovány rámcové podmínky. Získané výsledky pak slouží jako podklad pro zlepšení procesů. Je možno je také využít k získání klíčových ukazatelů výkonu pro celkovou efektivnost zařízení (OEE).

K plnému využití potenciálu získávaných dat je ale ideální tato data analyzovat v reálném čase pomocí algoritmů využívajících strojové učení. K získání potřebných výsledků je zapotřebí implementovat do podniku potřebnou IT infrastrukturu. Zajistit co možná největší množství relevantních dat o strojích, zařízeních a procesech a splnit požadavky na telekomunikační technologie, které se vyznačují vysokými nároky na latenci a kapacitu možných připojení. Výsledky dané analýzy pak mohou poskytnout zcela jiný pohled na parametry, které dříve s problémem nebyly vůbec spojovány.

Za nejvyšší stupeň analýzy dat lze považovat prediktivní analýzu, která nejenže je schopna poskytovat přehled o datech získaných v minulosti a současnosti, ale také dokáže predikovat následující vývoj. Prediktivní analýza je tak využívána zejména k předvídání poruch strojů nebo k omezení dopadu na výrobu způsobenou neplánovanými prostoji. Prediktivní údržba nemusí upozorňovat pouze na poruchy, ale také například na potřebu vyměnit dosluhující nástroj s včasným předstihem, aby mohlo být zajištěno dodání nového před koncem životnosti toho starého. Napomáhá tak k efektivnímu plánování přestávek na údržbu, poněvadž neplánované přestávky výraznou měnnou přispívají k prostojům ve výrobě, a tudíž k finančním ztrátám. K predikci analýza využívá nashromážděná data v reálném čase, která porovnává s historickými daty a hledá případné odchylky, jež by mohly předznamenávat poruchu zařízení. Tato analýza tak očekávaně klade největší nároky na již předem zmíněné schopnosti sítí, kterých jsme schopni nejlépe dosáhnout pomocí standardů 5G sítě.

K uložení všech vygenerovaných dat z podniku, která bývají také označována jako Big Data, jelikož se vyznačují velkým objemem a rozmanitostí, je nevhodnější využít tzv. datových jezer, kde mohou být ukládána nezpracovaná data. Z těchto datových jezer je možno pak data flexibilně využívat k analýze pro jakékoliv místo a proces v podniku, neboť jsou data uložena na cloudu a dostupná pro všechny. Uložení a zasilání těchto pro podnik důležitých dat s sebou ovšem přináší velké nároky na bezpečnost telekomunikační technologie. Tento požadavek opět umocňuje výhodu implementace 5G sítě do podniku.[34.] [36.]

9.4 Virtuální a rozšířená realita VR/AR

Poměrně nové technologie jako je virtuální a rozšířená realita pomalu nacházejí své uplatnění i v průmyslové výrobě, kde pomocí těchto technologií lze transparentně prezentovat a vizualizovat informace pracovníkům a pomoci jim tak například s novým pracovním postupem nebo k doplnění informací.

Pomocí virtuální reality lze vytvořit digitální svět, ve kterém se uživatel může pohybovat. Toto řešení je nejčastěji aplikováno při návrhu a plánování výrobních hal a konkrétních pracovních míst a dílen. Za snížených nákladů na návrh jsme tak schopni nasimulovat prostředí, ve kterém je možno ověřit spolupráci a zabezpečení mezi roboty a lidmi. Virtuální realita může být také využita ke školení nových zaměstnanců, popřípadě k doškolení těch současných, kterým jsou přiděleny nové pozice nebo nastaly změny v jejich pracovním postupu. Virtuální realita pro školení zaměstnanců je také vhodná k nasimulování prostředí, jež by bylo buď drahé nasimulovat v reálném životě, nebo by toto prostředí bylo příliš nebezpečné.

Na rozdíl od virtuální reality člověk v rozšířené realitě vidí jak skutečný svět, tak i digitálně přidané objekty. Hlavní vlastností rozšířené reality je zobrazování informací o procesech a strojích při podpoře pracovníků. Tyto informace jsou vyobrazeny nejčastěji do tzv. chytrých brýlí, k zobrazení však může být použito i jakékoliv mobilní zařízení například tablet. Nicméně výhoda použití brýlí spočívá v tom, že pracovníci mohou plně využít obě ruce na práci. Současně je nejvíce využívaná funkce AR brýlí navigace pracovníka ve výrobní hale a skladu. Pracovník je tak schopen se lépe orientovat v areálu skladu, což přispívá ke snížení celkové doby vychystávání materiálu či zboží. Brýle mohou být využity i k zobrazování požadovaných nástrojů a materiálu nebo důležitých dokumentů, jako jsou příručky a návody k obsluze. AR brýle mohou taktéž poskytnout řešení pro vzdálený servis, kdy technik, jenž se nenachází v prostorách podniku, může přes AR brýle předávat pokyny zaměstnanci k opravě, konfiguraci či údržbě strojů. Technik bude schopen instruovat zaměstnance o to snadněji díky zabudované kameře v AR brýlích, která bude schopna streamovat obraz, který právě vidí zaměstnanec technikovi. Posloužit mohou i k detekci poruch vyráběných dílů či ke kontrole jejich rozměrů. Ideálním řešením by bylo vizualizování informací do brýlí v reálném čase, například informací o čase dodání materiálu na linku nebo zobrazování telemetrických dat stroje. U mobilních robotů by se mohlo kromě jiného znázorňovat stav nabití baterie, eventuálně cestu jejich pohybu. Rozšířená realita podobně jako VR také může posloužit ke školení zaměstnanců, jelikož je schopna navádět zaměstnance a zobrazovat postupné kroky v pracovním postupu kupříkladu při montáži a demontáži dílů. Zpřístupnění informací zaměstnancům v reálném čase přináší zejména úspory času a peněz. Rovněž přispívají k lepší údržbě a menší zmetkovitosti.

Zavedení sítí páté generace podpoří klíčové požadavky virtuální a rozšířené reality na telekomunikační technologie. Nízká latence s větší rychlostí přenosu dat usnadní vzdálený servis a vizualizaci dat v reálném čase. Pomocí nízké latence lze také docílit včasného vykreslení a zobrazení informací při změně směru pohledu pracovníka do brýlí. Současné systémy navíc plně nepodporují potřebnou mobilitu zařízení a také zabezpečení přenosu dat.[34.] [35.]

9.5 Roboty a Kolaborativní roboty

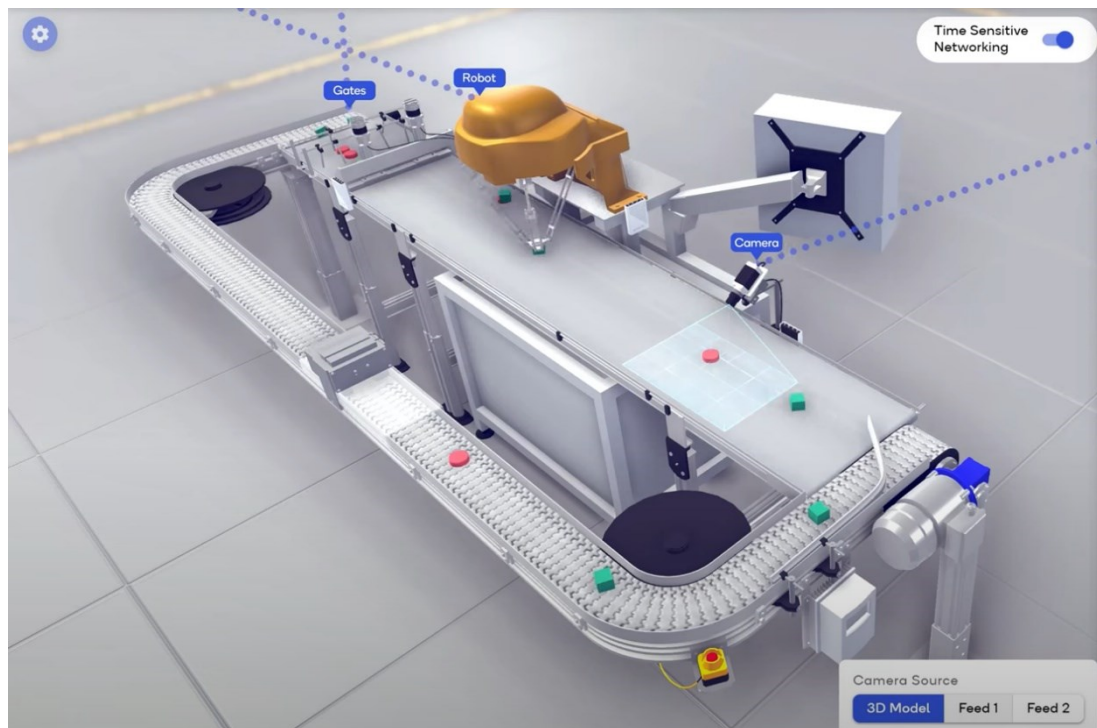
Využívání běžných průmyslových robotů a v posledních letech i kolaborativních robotů tzv. cobotů se v průmyslové výrobě díky postupné automatizaci stále zvyšuje. Roboty jsou běžně využívány k automatizaci procesů, aby se docílilo zvýšení kvality výroby a snížily se provozní náklady a doba zpracování. Hlavním rozdílem současně nejvíce využívaných robotů od cobotů je jejich předdefinované řízení pohybu. Neumožňují tak spolupráci s lidmi ve stejném prostředí tudíž často pracují v oplocených robotických buňkách. Jejich pohyb sloužící ve většině případů k uchopení součástky a k jejímu následnému uložení na místo je předem naprogramovaný. Navíc toto často zdlouhavé naprogramování pohybu provádějí specializovaní pracovníci. Robot tak nedisponuje žádnou flexibilitou, ve výrobě je upevněn na jednom specifickém místě a provádí stále stejnou práci. Toto řešení je tedy vhodné při výrobě velkých sérií, jelikož by změna procesu byla příliš náročná a nákladná. Roboty v tomto provedení nekladou žádné specifické požadavky na komunikační technologie, kterých bychom nemohli dosáhnout se současnými sítěmi.

Na druhou stranu coboty vyžadují vysoké nároky na latenci, aby mohla být zajištěna bezpečná spolupráce s lidmi ve stejném prostředí. Cobot využívá senzory ve své paži buď k vyhnutí se pohybu člověku, nebo k úplnému včasnému zastavení svého pohybu. Coboty i přesto musejí dodržovat normy týkající se především jejich rychlosti pohybu nebo síly stisku paže cobota. Uplatnění cobotů je tak z velké části k vykonávání opakujících se mnohdy neergonomických úkolů, jako je zvedání těžkých těles a přenos materiálu. Mohou však být využity i například ke šroubování či jako svářeční robot. Největší výhodou cobotů je ale nicméně jejich flexibilita. Jejich naprogramování je výrazně jednodušší, než je tomu u normálních průmyslových robotů. Ke snadnému naprogramování přispívá i schopnost cobota se naučit pohyb, který s ním provedl příslušný pracovník programující jeho výrobní úkol. Je možno tak častěji a snadněji měnit jeho pracovní úkoly a umístění ve výrobě. Ideálním případem by bylo zajistit dostatečně stabilní a rychlé připojení nevyžadující ethernetové připojení cobotů. Coboty by se tak mohly stát více mobilními například v kombinaci s autonomními dopravními systémy, jež by je mohly přemísťovat na různá místa ve výrobním procesu. Mobilní cobot by tak během dne mohl podporovat pracovníka při výrobě a posléze se přemístit k samostatnému provozu například během noci. Zajištění spojení s ostatními coboty díky odesílání dat z cobota do cloudu a strojovému učení by pak celá flotila mohla být automaticky optimalizována a aktualizována k zajištění lepší kvality a rychlosti služeb. Kolaborativní roboty nevyžadují příliš velké počáteční investice a jsou schopni pracovat bez přestávek, což vede k rychlé návratnosti počátečních investic, a to běžně do jednoho roku.[34.] [37.]

Při připojení robota do bezdrátové 5G sítě bude zapotřebí k zajištění stabilního připojení více mikrovysílačů v dané oblasti, jelikož při běžném provozu ve výrobě by signál z jednoho samostatného vysílače mohl být snadno zastíněn pohybujícími se objekty ve výrobě. Při řešení aplikací citlivých na čas, bude vhodné k přenosu dat kombinovat 5G a TSN. TSN je sada standardů specifikovaných normou IEEE 802. Tato norma umožňuje sítím ethernet poskytovat záruky QoS pro časově nebo kriticky důležitý provoz a aplikace. TSN pomocí nástrojů zaručuje spolehlivost, synchronizaci času a také pomocí řazení provozu do fronty upřednostňovat časově kritická data. 5G je schopno podporovat funkce TSN a je tak vhodná jejich kombinace.

Společnost Qualcomm za účelem otestování výhod, které přináší spojení 5G s TSN vytvořila malou výrobní linku v San Diegu. Princip této výrobní linky spočívá v tom, že kamera zašle pořízené snímky objektů skrze 5G a TSN na server, kde umělá inteligence vyhodnotí pořízený obrázek a pomocí PLC instruuje robota, který následně objekty roztřídí. Při zapnutém TSN byli rozpoznány všechny objekty s velkou přesností. Zatímco při vypnutém TSN robot nebyl schopen správně roztřídit téměř každý druhý objekt. Spolehlivost

spojení byla zajištěna pomocí 4 mikrovysílačů umístěných ve skladu. Následně byl spuštěn 24hodinový provoz linky, který porovnával spolehlivost spojení u 1 a 4 vysílačů. Uprostřed testování bylo simulováno i zastínění signálu, načež po 24 hodinách byla u 4 vysílačů docílena výsledná hodnota spolehlivosti 99.9999%. Byly tak splněny požadavky na spolehlivost spojení na rozdíl od 1 vysílače, který na konci testování docílil spolehlivosti 99.95%. [15.] [38.]



Obrázek 3: Linka na třídění objektů za pomoci 5G TSN [38.]

9.6 Monitorování a vizualizace dat

Nedílnou součástí dnešních digitalizovaných firem je za pomoci senzorů monitorovat a následně vizualizovat získaná data pracovníkům na monitoru řídicího panelu. Pracovníkům je tak poskytnut přehled o všech klíčových parametrech stroje a lze tak rychleji reagovat na určité odchylky od ideálního stavu.

a) Monitorování stroje

Monitorování strojů, a tedy jejich klíčových ukazatelů výkonu (KPI) pomocí sítě senzorů je již dnes zcela běžné. Na základě získaných dat o stroji je vytvářena digitální kopie aktuálního stavu stroje taktéž nazývána jako digitální stín. Následně pomocí digitálního stínu jsou pak data o stavu stroje vizualizována na řídicím panelu nebo například na smartphonu pracovníka. Při zjištění potíží tak pracovník může zareagovat a problém ručně odstranit. Požadavky na komunikační síť v tomto základním provedení nejsou příliš náročné, avšak pokud by bylo připojeno více strojů a chtěli bychom například porovnávat aktuální stav stroje s předdefinovanými daty, což by vyžadovalo získávání a porovnání dat v reálném čase, tak by již implementace privátních 5G sítí mohla přinést konkurenční výhodu. [3.] [33.]

b) Monitorování obrobku a nástroje

Monitorování obrobků a nástrojů během řezání lze realizovat pomocí senzorů akustické emise. Měření založené na akustické emisi je pasivní metoda, která podává informace o současném stavu materiálu. Senzory AE je tak možno využít při detekci opotřebení nebo poškození rezného nástroje případně k detekci různorodosti obráběného materiálu. Lze tak

optimalizovat dobu výměny nástroje, a předejít tak k jeho poškození, což může přinést poměrně výrazné snížení nákladů a přispět k lepší efektivnosti zařízení (OEE). Implementace 5G je zde skoro nezbytná, jelikož je vyžadována nízká latence, aby mohlo případně dojít k včasnému zastavení obrábění obrobku. Taktéž jsou zde vyžadované vysoké přenosové rychlosti, protože AE senzory mohou generovat až desítky megabitů za sekundu a v mnohých řešeních jako je například pětiosé frézování musejí být navíc připojeny bezdrátově. Nicméně při bezdrátovém připojení a vysokých přenosových rychlost by jedním z největších problémů mohla být právě výdrž baterie senzorů.[34.]

c) Monitorování prostředí

Mezi další využití by se dalo zařadit monitorování a řízení prostředí v závodě za pomoci kamer a senzorů. Kamery ve vysokém rozlišení jsou dnes již dostupné za mnohem příznivější ceny než před několika lety, a tak nic nebrání jejich využití k monitorování prostředí a provozu ve výrobě. Lze tak za pomocí algoritmů a analýzy dat vyhodnocovat statické i pohyblivé obrazy pořízené kamerami. S přispěním senzorů je tak možno si udělat ucelený obraz o současném prostředí v závodě. Když systém detekuje chybu nebo nějaké poškození, je na to poté schopen upozornit pracovníka v reálném čase. Získaná data ze senzorů monitorujících tepelný výkon strojů a spotřebu energie by také mohla sloužit k řízení tepla a energií v závodě a pomoci tak k udržování vhodné pracovní teploty a snížení nákladů na klimatizaci, topení a spotřebu elektrické energie.[36.]

d) Monitorování a řízení procesů a kvality.

Tato možnost je zaměřena na monitorování procesů a kvality pomocí automatizovaného sběru dat ze senzorů a kamer. Jejím účelem je zajistit včasnou identifikaci výrobních vad, popřípadě zjistit jejich příčinu. Kontrola kvality, ať už to výrobků, nebo materiálu může být založena na pořizování snímků materiálu ve vysokém rozlišení pomocí kamer. Tyto snímky by dále byly vyhodnoceny pomocí umělé inteligence (AI). Když by konkrétní výrobek obsahoval vady nebo jiné problémy s kvalitou, mohl by být upozorněn pracovník na místě. Podobně jako kvalitu produktů a materiálu však lze sledovat i celý proces výroby. Zde by systém musel nepřetržitě shromažďovat a vyhodnocovat data ze všech procesů, aby postupným učením pomáhal optimalizovat kvalitu procesů. [34.]

10 Příklady z praxe využívající 5G v průmyslové výrobě

V této kapitole budou uvedeny praktické příklady úspěšné implementace 5G sítí do výroby. Jedná se o firmy, které se převážně nachází v zemích zaměřených na uplatňování myšlenek průmyslu 4.0 a implementaci 5G sítí, tedy v Číně a Německu. Tyto příklady by měly sloužit jako reálný příklad pro firmy, které uvažují nad aplikací 5G sítí do výroby.

10.1 Commercial Aircraft Corporation of China (COMAC)

Je firma založena v roce 2008 zabývající se výrobou osobních dopravních letadel. Společnost se snaží vyvinout v továrně v Šanghaji inteligentní výrobní systém založený na technologii 5G, který by měl přetvořit a zefektivnit procesy výroby, logistiky nebo například kontroly kvality.

Stav před implementací 5G.

V rámci výroby letadel, ale také například při běžné údržbě nebo zkušebních letech je požadována kontrola kvality povrchu letadel. Kontroly jsou podrobeny zejména kritické komponenty. Zda jsou správně smontovány nebo zda neobsahují povrchové vady, mezi které se řadí například puchýře a zvrásnění či zda nechybí nátěr barvy na povrchu letadla.

Pro kontrolu kvality povrchu letadel sloužila především ruční kontrola odborných zaměstnanců, kteří používali horolezecké vybavení ke kontrole během výrobního procesu. Tato metoda však nebyla příliš výhodná vzhledem k velikosti letadla, a tak jednoduše mohlo docházet k různým nepřesnostem. Kontroly povrchu pomocí kamer nebylo široce využíváno zejména kvůli požadavkům na vysoké rozlišení průmyslových kamer, které by velké množství dat musely přenášet do cloudu pomocí kabelů ve složitém kontrolním prostředí, aby následně mohla být data analyzována.

Stav po implementaci 5G

5G síť ve spojení s ultra vysokým rozlišením průmyslových kamer, které nyní poskytují obraz v rozlišení 8K, bylo dosaženo vysoce přesného strojového vidění kvality povrchu letadel. Obraz 8K kamer poskytuje rozlišení 7680 x 4320 pixelů a též lepší jasnost a širší barevný gamut. Aby byla zajištěna požadovaná 8K kvalita obrazu při požadované snímkové frekvenci pěti snímků za sekundu, musí přenosová rychlost dosáhnout minimálně 100Mb/s pro komprimované obrazy. Čehož je dosaženo právě pomocí 5G sítí a technikami kódování obrazu. UHD zařízení je schopno pořizovat snímky velkých ploch letadel, které jsou následně prostřednictvím 5G sítě přenášeny k analýze na vysoce výkonné výpočetní servery v cloudu, kde jsou s využitím umělé inteligence pro detekci vad snímky zpracovány a vyhodnoceny během několika sekund. Snímky jsou pořizovány kamerou, která je umístěna na robotické paži AGV. Systém je tak mobilní, flexibilní, efektivní a vysoce přesný s možností dalšího rozšíření pro kontrolu povrchu ve všech fázích výroby.

Přínosy

Automatizovaný proces může zvýšit účinnost kontroly povrchu až trojnásobně při současném snížení doby kontroly. Systém poskytuje objektivní a měřitelná data. Snižuje možnost chyb a zlepšuje bezpečnost na pracovišti. Systém je možno také využít ke zkrácení doby potřebné pro přejímací kontroly či údržbu letadel, která jsou již v provozu, a tak přispět k většímu obratu letadel a efektivnějšímu využití prostoru. Dalším přínosem je snižování nákladů, jelikož k obsluze systému je zapotřebí pouze 1 zaměstnanec namísto 2–3 inspektorů kvality na každé výrobní lince.[39.]

10.2 Haier

Je nadnárodní čínská společnost zabývající se výrobou domácích spotřebičů, a to zejména ledniček, klimatizací nebo praček. Jejím pilotním projektem pro implementaci 5G sítí je továrna na výrobu praček v Tianjinu.

Do továrny jsou integrovány nejnovější informační a komunikační technologie sítě 5G nevyjímaje. Tyto technologie mají sloužit především ke kontrole, monitorování bezpečnosti a k podpoře logistiky ve skladu a ve venkovních prostorech, kde by jejich výhody měly využívat zejména UAV a AVG systémy. UAV systémy by měly zajišťovat zabezpečení a koordinaci v areálu. Pro venkovní oblast je tak plánovaná přenosová rychlost pro downlink 1Gb/s a pro uplink 100 Mb/s. Ve vnitřních prostorech pro výrobu bubnů do praček a v laboratorních oblastech či v balicí zóně, byly umístěny mikrovysílače 5G uvnitř daných prostor, aby nedošlo k rušení signálu díky pokrytí továrny kovovými plechy. Okolo výrobní linky byly rozmístěny 4 AAU, aby bylo zajištěno potřebné pokrytí pro vysokorychlostní přenos dat. Pracovníci u linky mohou přes AR brýle dostávat instrukce při řešení technických potíží nebo všeobecné pokyny k provozu. Lze také kontrolovat dodržování bezpečnosti na pracovišti, jako je například nošení ochranných pomůcek. Strojové vidění je schopno kontrolovat kvalitu vstupních surovin, ale také v každém kontrolním bodě na výrobní lince a zajistit tak komplexní monitorování a dohled nad celým výrobním postupem. V balicí zóně budou využívat možnosti 5G sítě zejména bezpilotní vysokozdvizné vozíky, které manipulují s hotovými výrobky. Výhody velkého množství připojení v rámci IoT by měli být využívány i například k připojení odpadkových košů, lamp nebo zařízení pro detekci kouře.[39.]



Obrázek 4: Produkční linka v Tianjinu [40.]

10.3 RoboTechnik

Společnost navrhuje, vyvíjí a vyrábí automatizovaná zařízení pro inteligentní výrobu pro odvětví fotovoltaiky, elektroniky, potravinářství a farmaceutiky. Poskytují například inteligentní monitorovací a skladovací zařízení nebo systémy pro výrobu a přepravu materiálu.

RoboTechnik společně s China mobile vytvořily prototyp výrobní linky na výrobu solárního zařízení ve městě Suzhou. Cílem bylo nahradit pevné a WiFi připojení 5G sítí, aby bylo možné dosáhnout flexibilnější výroby a plně přenést průmyslové aplikace do cloudu. Projekt byl realizován ve třech fázích, kde během prvních dvou fází byly připojeny veškerá zařízení v závodě do soukromé 5G sítě. Ve fázi 3 byla dokončena výrobní linka a byly zkoumány nové aplikace a služby jako například dopravní systémy AGV a kontrola kvality za pomoci 5G sítě.

U AGV systémů se díky stabilnímu a spolehlivému bezdrátovému 5G připojení zvýšila spolehlivost pohybu, jelikož díky němu bylo usnadněno připojení robotů do cloudu, což vede k lepší komunikaci se systémy a k rychlejšímu rozhodování na základě přístupu k datům prakticky v reálném čase. U AGV systémů se také zvýšila flexibilita jejich nasazení na výrobní lince a byly vybaveny kamerami s vysokým rozlišením, aby během pohybu po továrně na dálku zaznamenávaly současné prostředí, a snížily tak náklady na pracovní sílu a zlepšily efektivitu správy ve firmě, jelikož je záznam odesílán v reálném čase do monitorovacího centra.

U kontroly kvality jako v předchozím případě u COMACu byly pořízené snímky křemíkových waferů, používaných k výrobě solárních článků, poslány do cloudu, kde byly snímky vyhodnoceny a posléze byly wafery na kontrolním místě dle získaných dat rozříděny dle jejich kvality.[37.]

10.4 Sany

Společnost Sany patří mezi největší světové výrobce těžkých stavebních zařízení, jako jsou například rypadla, jeřáby a nakladače. Pro společnost Sany se pracuje na vybudování 5G sítě ve městech jako je Peking, Changsha a Kunshan, kde plochy každé továrny dosahují přibližně 45 000 metrů čtverečních.

Potřeba 5G sítě

Společnost Sany si klade za cíl pomocí 5G sítě snížit celkové náklady a zvýšit efektivitu výroby. 5G sítě se implementují zejména díky problémům s konektivitou v oblastech pro sběr dat u ručních, mobilních nebo rotačních zařízení v továrně, kde realizace pomocí kabelového připojení není vhodná nebo je příliš nákladná. Taktéž v místech kde WiFi systémy nevyhovují, jelikož jsou náchylné k rušení a nepodporují příliš velké množství připojených IoT zařízení. Privátní 5G síť je také na rozdíl od WiFi schopna většího zabezpečení dat. Konektivitou a výkonem sítě jsou také omezena přenositelná zařízení jako AR a VR aplikace. Sany pro své specifické potřeby chce uplatňovat výhod 5G připojení třeba pro dálkové a autonomní řízení bagrů v rámci inteligentní těžby surovin. Společnost začala s implementováním 5G sítí již v roce 2019 a postupem času je uplatnila v následujících řešeních.

- a) Bezpečnostní dohled nad areálem firmy v rozlišení až 4K. Kde je přenos pomocí 5G sítě přenášen do monitorovacího centra v areálu.
- b) Panoramatické VR živé vysílání v areálu. Umístění panoramatické VR kamery na střeše kancelářské budovy v areálu umožňuje 360stupňovité sledování areálu.
- c) Sběr průmyslových dat. Pomocí 5G sítě jsou sbírána a shromažďována data z CNC a IoT zařízení.

d) Nasazení do provozu systému AGV založené na cloudu s využitím 5G, které nahradily přepravu materiálu pomocí ručně ovládaných vysokozdvizných vozíků a AGV systémů, které byly vedeny podél pevně stanovených cest. Touto změnou se snížily mzdové náklady a také přispěla k větší flexibilitě a bezpečnosti v areálu.

e) Autonomní těžební vozy. Aplikováním 5G se u těžebních vozů výrazně zlepšily možnosti snímání prostředí kolem nich, a tak je nyní možné dosáhnout toho, že jeden člověk v řídicím centru je schopen současně řídit trajektorie několika těžebních vozů na ráz. Toto řešení opět přispělo ke snížení mzdových nákladů a ke zvýšení celkové efektivity těžby při současném zvýšení bezpečnosti na pracovišti.

f) Dálkově ovládaný bagr. Pracovník je nyní schopen ovládat bagr v reálném čase z řídicí místnosti, do které je přenášén obraz pomocí 360stupňové kamery umístěné v bagru. Toto řešení přispělo k bezpečnosti, jelikož se již pracovník nemusí obávat sesunů půdy, které bagr při práci často ohrožovaly.

Společnost Sany nadále plánuje rozšiřovat možnosti použití aplikací s podporou 5G ve svých areálech, jako je například využití AR, kontrola kvality produktů, správa zásob nebo řízení robotů.[7.]

10.5 Xinfengming Group

Je jedna z největších společností zaměřující se na výrobu a prodej polyesterových vláken, které jsou využívány v textilním průmyslu. Výroba před zavedením 5G sítě převážně spoléhala na lidský dohled nad výrobou polyesterových vláken, což ovšem přinášelo nízkou kvalitu výroby a vysoké mzdové náklady.

5G síť tak byla ve společnosti využita k následujícím řešením:

a) Automatické IGV systémy vybavené HD kamerami, které slouží k přemístování koláčů z polyesterových vláken v rámci podniku. Díky 5G síti tyto systémy nyní pracují s větší efektivitou dopravy, jelikož se jim mohou flexibilně upravovat přepravní trasy a rychlost. IGV vozíky nyní také disponují větší stabilitou připojení a nižší latencí, která se snížila až na hodnotu pod 10 ms. Těchto hodnot nešlo docílit s běžným WiFi připojením v areálu. Kamery umístěné na vozidle monitorují pracovní prostředí v reálném čase a napomáhají k co možná největšímu zabezpečení výroby. Video data z kamer se nahrávají a zpracovávají v rámci místní privátní 5G sítě v datovém centru, aby byla zajištěna bezpečnost podnikových dat.

b) Bezdrátový sběr informací a dat ze senzorů v továrně. Díky 5G síti bylo možné připojit mnohem více zařízení IoT, která využívají velkou šířku pásma a nízkou latenci. Data ze senzorů jsou přenesena do datového centra, kde se na jejich základě určuje stav výrobního procesu. Toto bezdrátové řešení pomohlo snížit náklady na elektroinstalace a údržbu a celkově zvýšit efektivitu sběru dat v rámci podniku.

c) Zavedení inspekčních robotů, které využívají strojové vidění na detekci vláken. Roboty vybavené kamerami ve vysokém rozlišení 8K snímají stovky vláken, která se pohybují rychlostí 4000 metrů za minutu, a detekují vlákna, která se odklonila od správné dráhy, což výrazně podporuje větší kvalitu produktu a zároveň snižuje náklady na mzdy zaměstnanců. [39.] [7.]



Obrázek 5: Inspekční robot při kontrole vláken [44.]

10.6 Německé automobilky

Mezi první společnosti, které se snaží implementovat 5G sítě do výrobních závodů, patří především výrobci automobilových vozidel v Německu a jejich dodavatelé.

10.6.1 Volkswagen Group

Volkswagen nadále pokračuje v digitalizaci svého hlavního závodu ve Wolfsburgu, kde v roce 2019 zavedl automatické ultrazvukové kontroly svarů dveří automobilů, což podle odhadů přineslo přibližně roční úspory ve výši 3 milionů eur. Další úspory má především přinést sběr velkého objemu dat ze senzorů a robotů v továrně, jež mají být automaticky přenášena a vyhodnocována algoritmy v cloudu, a následně mají být zasílána oznámení technikům v provozu v reálném čase. Tento systém má sloužit výhradně k rychlejší detekci poruch, aby se omezila doba prostojů, ale také může sloužit k údržbě zařízení a přispívat k lepší logistice v podniku.[38.]

Společnost Audi začala testovat ve svém pilotním projektu ve výrobním podniku v Gaimersheimu průmyslového cobota, který instaluje airbasy do volantů aut. Je zde testována bezdrátová URLLC 5G síť, která slouží ke komunikaci mezi robotem a bezpečnostními senzory umístěnými v manipulační buňce robota. Robot je tak schopen včasné zareagovat a zastavit svůj pohyb, jakmile dojde k narušení jeho buňky například lidskou rukou. Pro spolupráci lidí a bezdrátových výrobních robotů bude nezbytné využívat právě funkce 5G URLLC, která splňuje nároky na latenci, a tak zabezpečí bezpečný provoz na výrobních linkách.[9.]

10.6.2 BMW

Společnost BMW a společný podnik sídlící v Číně BMW Brilliance Automotive, zajišťující výrobu a distribuci aut značky BMW v Číně pokračují v nasazování soukromých

5G sítí do všech výrobních podniků. Jejich výhodou hodlá využívat zejména v případech použití, jako je rozšířená realita, autonomní dopravní systémy a na komunikace mezi stroji a mezi stroji a člověkem.[44.]

10.6.3 e.GO Mobile

V porovnání s ostatními automobilkami je e.GO Mobile poměrně malá společnost sídlící ve městě Čáčky, kde vyrábí malé elektrické automobily v roční produkci pohybující se okolo 600 vozidel. Ve své továrně o rozloze 8500 metrů čtverečních využívá 36 antén k zajištění pokrytí 5G sítí. Za pomoci 5G sítí jsou koordinovány dodávky komponent, sbírána data ze senzorů a kamerového systému, ale především je využívána k navádění AGV dopravních systémů mezi montážními stanicemi, jelikož je na nich umístěna celá karosérie vozidla. [10.]

10.6.4 Mercedes-Benz

Mercedes-Benz v roce 2020 otevřel novou moderní továrnu v německém Sindelfingenu, kde hodlá plně využívat výhod 5G sítě, kterou si sám i spravuje. Závod zabírá plochu 220 000 metrů čtverečních a disponuje více než 400 AGV zařízeními a celou řadou senzorů a zařízení IoT, která jsou připojena k místní privátní 5G síti. Stejně jako v automobilce e.GO Mobile je tradiční linková výroba nahrazena AGV systémy, které slouží k přepravě karosérie vozu, což přispívá k větší flexibilitě výroby, jelikož pouhou změnou trasy daného AGV můžeme například výrobní proces změnit na cyklický nebo zařízení rovnou zastavit při potřebě instalací specifických komponent. Další automatizované vozíky slouží k zásobování jednotlivých montážních stanic materiálem. Stejně jako v několika předchozích případech i zde jsou shromažďováno a vyhodnocováno velké množství dat ze senzorů a zařízení ke zlepšení procesů a údržby. Taktéž v celém závodě není k prezentaci informací používán žádný papír, ale všechny informace jsou vizualizovány na displeji. [45.]



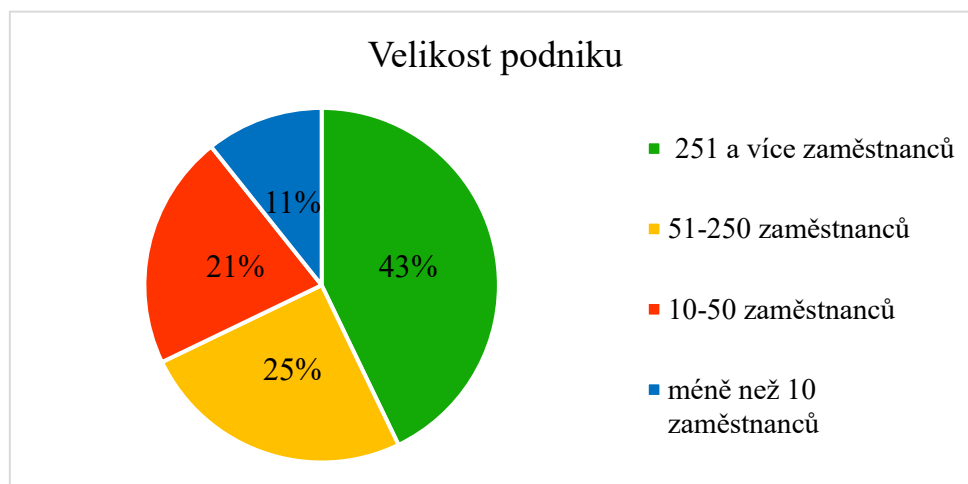
Obrázek 6: AGV přepravující karosérii vozu [43.]

11 Dotazníkové šetření

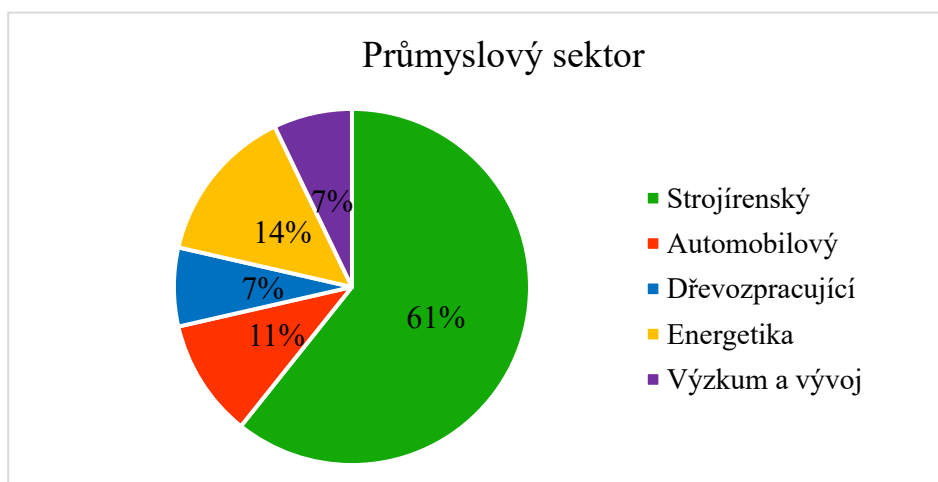
V následující části bylo provedeno dotazníkové šetření zabývající se postojem podniků k 5G a k využívání sítí v podniku. Dotazník byl vytvořen za účelem doplnění informací o těchto tématech a ověření, zda získané odpovědi korespondují s tvrzeními komunikačních poskytovatelů. Dalším cílem je identifikování možných využití, které potenciálně čeká v blízké budoucnosti větší nasazení v podnicích, a zda je 5G síť může podpořit. Za účelem získání co možná největšího množství odpovědí byl vytvořen krátký dotazník pomocí služby Formuláře Google, který byl následně rozeslán pomocí elektronické pošty respondentům. Dotazník obsahuje 8 otázek, z nichž jsou úvodní 2 otázky obecného charakteru. Celkem se vrátilo vyplněných 28 dotazníků.

11.1 Jednotlivé otázky a získané odpovědi

Otázky 1 a 2 sloužily zejména pro to, aby se získal přehled o tom, o jak velký podnik se jedná a na jaký průmyslový obor se zaměřuje. U otázky číslo 1 bylo na výběr ze 4 předem definovaných odpovědí, které měly za úkol identifikovat velikost firmy na základě počtu zaměstnanců. Otázka číslo 2 zabývající se průmyslovým odvětvím rovněž poskytovala výběr z několika předem definovaných odpovědí, ale byla ponechána možnost doplnění respondentem.

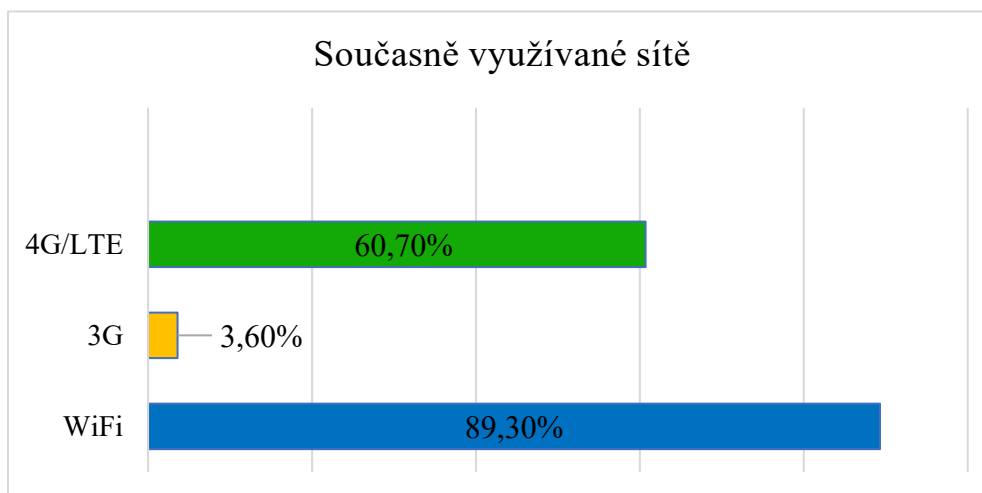


Nejvíce, a to 43 % vyplněných dotazníků pocházelo z velkých podniků disponujících 251 a více zaměstnanci. Malé a střední podniky zde dohromady zastupují 46 % a zbylých 11 % zastupují mikro podniky, které mají méně než 10 zaměstnanců.



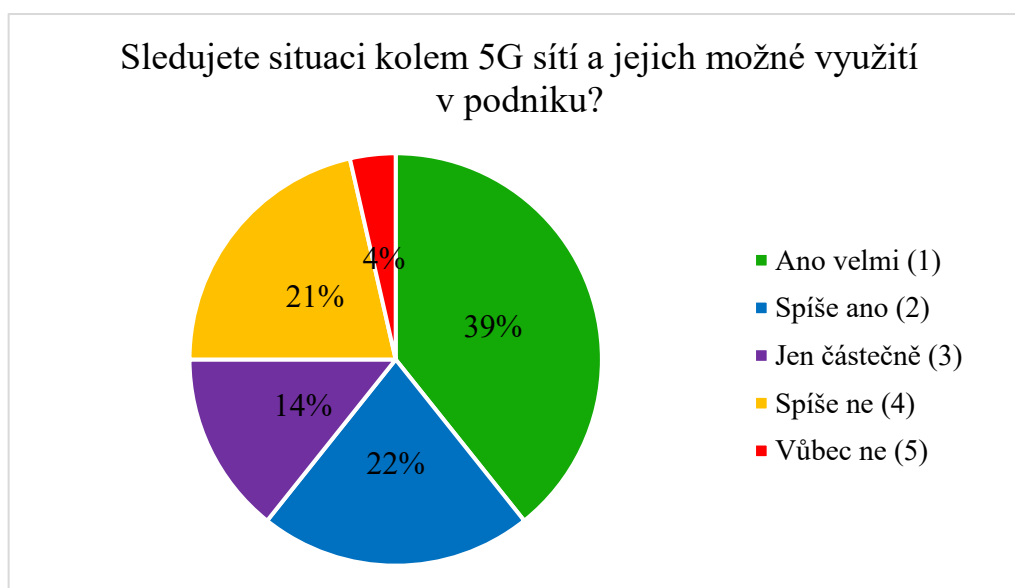
Největší zastoupení, a to 61 % mají v průzkumu strojírenské firmy následované firmami zabývajícími se energetikou se 14 %. Automobilový průmysl uvedlo do otevřené odpovědi 11 % dotázaných. Nejmenší zastoupení zde mají dřevozpracující průmysl a také výzkum a vývoj. Oba shodně zastupují 7 % dotázaných.

Třetí otázka se zaměřovala na bezdrátové připojení a mobilní sítě, které jsou nyní v podniku využívány. U této otázky bylo možné odpovědět na více předem daných odpovědí. Z tohoto důvodu budou získaná data prezentována v procentuálním podílu k celkovým 28 odpovědím.



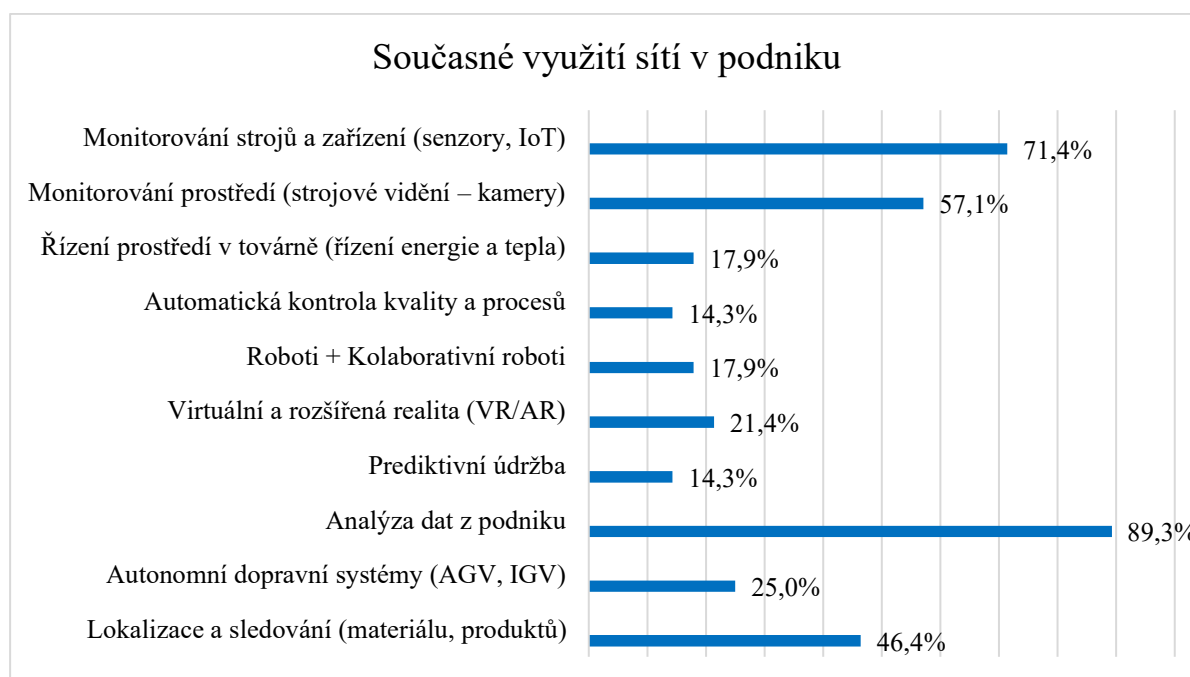
Naprostá většina firem uvedla, že využívá jednu z variant WiFi (89,3%) či 4G/LTE (60,7%) připojení nebo jejich kombinaci. Pouze jeden podnik z automobilového průmyslu uvedl, že stále mimo jiné využívá 3G síť.

Otázka číslo 4 byla do dotazníku zařazena, aby byly získány informace o tom, jak moc podniky sledují situaci kolem 5G a jejím možném využití v podniku. Tato otázka byla vytvořena jako škálová otázka pro měření názorů jednotlivých podniků. Odpovědi byly rozděleny do pětibodové škály, kde číslo jedna reprezentovalo postoj podniku, že velmi sledují situaci kolem 5G sítí a jejich možném využití v podniku. Zatímco číslovka 5 na druhé straně reprezentovala, že se podnik o toto téma vůbec nezajímá.



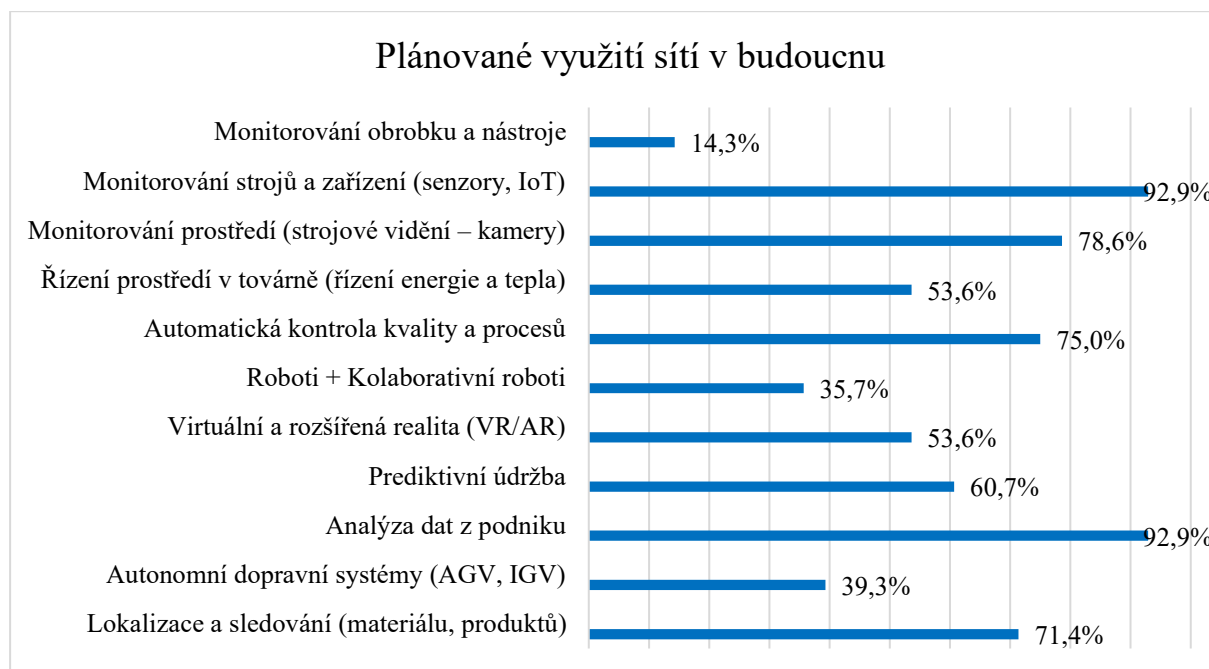
Z průzkumu vyplývá, že více než 60 % dotázaných se o využití 5G sítí v podniku zajímá. Jednalo se především o velké a střední firmy, zatímco nezájem o využití 5G uvedly micro podniky, ale také k mému překvapení 3 velké firmy z oblasti energetiky, strojírenství a dřevozpracujícího průmyslu, které navíc v následujících otázkách uváděli, že sítě v podniku využívají v mnoha případech a do budoucna chtějí přidávat další.

Otázka číslo 5 se zaměřuje na současné využití sítí v podniku. Jako možné odpovědi bylo uvedeno několik příkladů z jedné předešlých kapitol. Taktéž byla ponechána volná odpověď pro případné doplnění. Bylo možno opět zaškrtnout několik odpovědí, tudíž jsou data opět prezentována jako procentuální podíl k celkovým 28 odpovědím. Tato otázka slouží především jako výchozí pozice pro následující otázku, aby bylo možno identifikovat využití s potencionálním největším nárůstem v budoucnu.



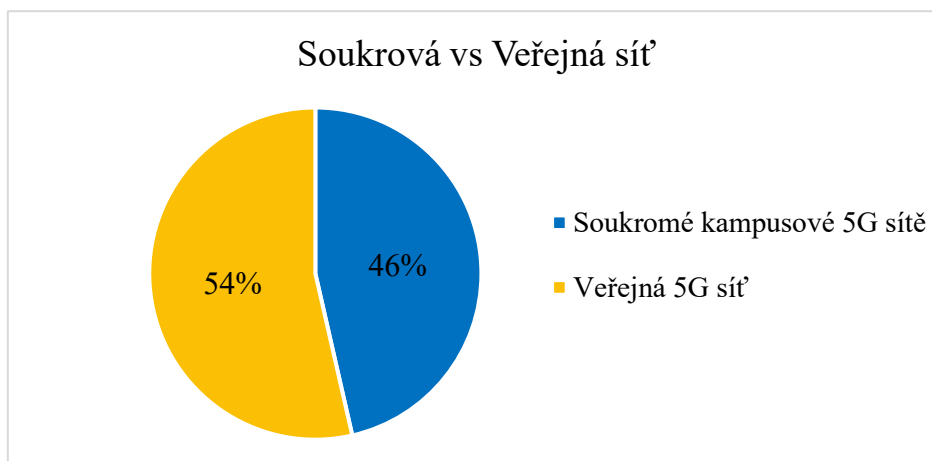
Největší zastoupení napříč všemi velikostmi podniků má využívání sítí k analýze dat získaných z podniku. Analýza dat nebyla uvedena pouze u 3 různě velikých podniků. Mezi další nejčastější využití se řadí monitorování strojů a zařízení pomocí senzorů a také monitorování prostředí prostřednictvím kamer. O něco méně než polovina podniků uvedla, že sítě využívá k lokalizaci materiálu a hotových produktů. K přepravě materiálu pomocí AGV využívá sítě jedna čtvrtina dotázaných. Ostatní případy využití jsou již méně časté a vyskytují se především ve velkých strojírenských firmách.

Šestá otázka zkoumá, k jakým úkonům by chtěli/plánují podniky využívat síť v budoucnu. Struktura možných odpovědí a prezentace výsledků byla ponechána stejná jako u předešlé otázky.



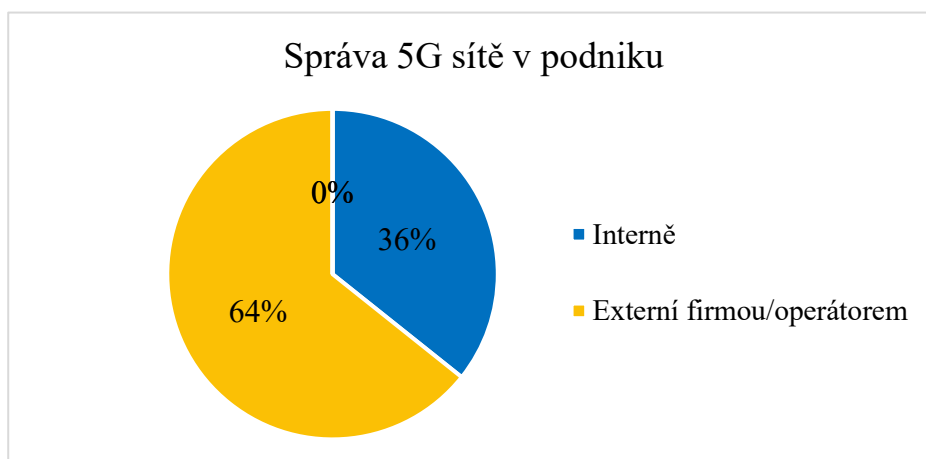
Z výsledků lze usuzovat, že podniky všeobecně chtějí a plánují větší digitalizaci procesů napříč všemi velikostmi podniků, jelikož se výrazně navýšili počty odpovědí u všech dostupných možností. Největší nárůst, a to o 60,7 % zaznamenala automatická kontrola kvality a procesů. V kapitole popisující příklady z praxe jsou uvedeny tři příklady podniků, které využily 5G k automatické kontrole kvality, a to společnost COMAC ke kontrole povrchu letadel, společnost Xinfengming ke kontrole vláken a společnost RoboTechnik ke kontrole kvality křemíkových waferů. Je možno tedy předpokládat, že by podniky na základě těchto příkladů z praxe mohli mít větší motivaci k implementaci 5G. Dalšími řešeními, která zaznamenaly výrazný nárůst v zájmu, jsou možnosti prediktivní analýzy (46,4%) a řízení energie a tepla v továrně (35,7 %). Obě varianty může 5G síť podpořit na základě umožněného většího množství připojených senzorů v podniku. Čtvrtý největší nárůst, a to 32,2 % dosáhlo využití virtuální a rozšířené reality. V tomto případě lze využít 5G síť k získání nižší latence a k podpoře větší mobility zařízení. Podniky však nechtějí pouze zavádět nové možnosti využití, ale chtějí také podpořit ty stávající. Proto ještě více respondentů uvádělo řešení, jako je již dnes běžné monitorování strojů a prostředí nebo lokalizaci a sledování materiálu. Využití autonomních dopravních systémů plánuje do výroby zavést o 14,3 % více dotázaných než v současnosti. Využívání AGV v podniku je spíše znakem velkých firem, které tak mohou výrazně ušetřit. Použití 5G právě na autonomní dopravní systémy je zatím tou nejčastější variantou v reálných případech z praxe, kde jsou využívány k přepravě materiálu, karosérií vozů a cobotů/robotů.

Otázka číslo 7 zjišťuje, zda při případném připojení podniku k 5G síti by dotázaní preferovali soukromé kampusové 5G síť či zda předpokládají, že by si vystačili s připojením k veřejné síti.



Možnosti využít soukromých kampusových 5G sítí by zejména chtěly využít velké a střední podniky z oblasti strojírenství a energetiky, i když se samozřejmě nejedná o pravidlo. Našly se i takové, které by se spokojily s veřejnou sítí. Malé a mikro podniky podle předpokladů ve valné většině volily právě veřejné sítě.

Poslední 8 otázka navazuje na předcházející a zkoumá, jak by podniky chtěly zajistit správu sítě. Zda by síť spravovaly interně, nebo s pomocí externí firmy/operátora.



Spravovat síť interně by chtělo 36 % dotázaných, a to především opět velké strojírenské a energetické firmy. Velká většina podniků by však nejraději řešila správu sítí pomocí externí firmy, a to jak u veřejných sítí, tak i u těch soukromých.

11.2 Celkové zhodnocení dotazníkového šetření

Celkový počet získaných 28 odpovědí na dotazník nelze považovat za zcela vypovídající o postoji podniků k 5G sítím, avšak lze sledovat určité trendy v odpovědích jednotlivých podniků v závislosti na jejich zaměření a velikosti. Do dotazníkového šetření se primárně zapojily velké strojírenské firmy následované skupinou středních a malých podniků z různých odvětví.

Jedním z hlavních úkolů dotazníkového šetření bylo zjistit, jestli se vůbec podniky o využití 5G sítě zajímají. Z dotazníkového šetření je patrné, že spíše ano, jelikož přes 60 % dotázaných odpovědělo kladně. Mezi tyto podniky však nepatřily pouze velké společnosti, od kterých by se to očekávalo, jelikož naprostá většina z nich již dnes hojně síť v podniku využívá, ale také středně velké podniky. Jak již bylo zmíněno, překvapením pro mě byl nezáměr 3 velkých podniků, které navíc uvedly, že v současnosti využívají síť v mnoha případech.

Část zaměřující se na současné a potencionální využití sítí v budoucnu ukázala velký zájem firem do budoucna digitalizovat procesy a zavádět nové technologie. Není překvapením, že v současnosti jsou nejvíce využívána řešení, která jsou plně schopna podporovat současně využívané sítě v podniku, jako je WiFi a 4G/LTE. Na více náročné aplikace a zařízení, jako jsou například roboty/coboty předpokládám, že je spojení se sítí stále realizováno pomocí pevného drátového připojení. Z odpovědí na plán firem, jak by v budoucnu chtěly sítě využívat, vyplívá, že největší zájem je o automatickou kontrolu kvality a procesů a podpoření již stávajících využití v podniku. Sítě páté generace by v těchto řešeních měly poskytnout požadované vlastnosti na síť, a umožnit tak jejich zařazení do výroby, jak již ukázali některé příklady z praxe.

Z poslední části průzkumu zaměřené na možnosti správy sítí a rozdíl mezi soukromími a veřejnými sítěmi je možno vyvodit, že zájem o privátní sítě mají především velké a střední podniky zabývající se strojírenstvím a energetikou. V oblasti správy sítí vyšlo najevo, že poměrně velké množství 36 % všech dotázaných by si síť rádo spravovalo samo, což je v rozporu s tvrzeními komunikačních poskytovatelů, kteří uvádějí, že například v Německu by si správu sítí chtělo zajišťovat samo pouze velmi malé množství těch největších firem.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vypracování rešerše zaměřující se na 5G síť a uvést příklady, jak tento nový standard v komunikaci využít v průmyslové výrobě. K přiblížení vývoje jednotlivých komunikačních standardů byly uvedeny předešlé generace mobilních sítí, které byly následně porovnány s požadovanými standardy na 5G. Aby 5G síť mohly poskytovat tyto standardy, bylo zapotřebí zpřístupnit nové spektrum. Zejména spektrum milimetrových vln, které podporuje maximální rychlost přenosu dat a nejnižší latenci. K podpoře šíření signálu byly vyvinuty nebo vylepšeny technologie jako jsou například Small Cells, Massive MIMO nebo Beamforming, který slouží ke směrování jednotlivých signálů. Důležitou součástí 5G sítí je také jejich flexibilita. Flexibilita sítě u privátních kampusových řešení přináší pro podniky mnoho výhod obzvláště network slicing, kde jsme schopni rozdělit síť na jednotlivé řezy podporující rozdílné vlastnosti sítě.

S 5G budou mít společnosti k dispozici nový nástroj, jak podpořit myšlenky průmyslu 4.0. Díky vlastnostem, které 5G síť přináší, jsme nyní schopni propojit mnohem více zařízení, zvýšit přenosové rychlosti velkého množství dat a u aplikací kritických na čas výrazně snížit latenci oproti předešlé generaci. Tyto vlastnosti tak podpoří již stávající uplatnění sítí v podniku a umožní i zcela nová řešení, a to zejména aplikací operujících v reálném čase. Je umožněno přesněji sledovat mnohem více položek v ně i uvnitř výrobní haly a k přepravě těchto položek využívat autonomní dopravní systémy, které se za přispění 5G již nemusejí nadále pohybovat po předem definovaných cestách. Zaměstnanci budou schopni se pomocí virtuální a rozšířené reality domlouvat se vzdálenými experty a zaškolovat se na nové pracovní úkoly. Zvýšené množství senzorů ve výrobě lze využít k přesnějším datovým analýzám, jež mohou poskytnout možnosti prediktivní analýzy, která umožní včasnou reakci na poruchy či dosluhující životnost nástroje. Hojně využívanými zařízeními se také nejspíše stanou kamery s vysokým rozlišením, které lze využít v mnoha případech, ať už se jedná o dohled nad výrobním prostředím, či například k detekci vad materiálu a výrobků. Větší zastoupení ve výrobě také čím dál tím více získávají kolaborativní roboty, jež díky své snadné programovatelnosti a možnosti jejich umístění na AGV zařízení podporují flexibilitu výroby. Možností uplatnění ve výrobě není málo a s postupem času se nachází stále nová.

V současné době je uplatnění technologie v praxi stále na počátku, avšak již lze najít konkrétní příklady firem, které 5G síť implementovaly do své výroby. Jedná se především o velké čínské a německé společnosti spolupracující s místními telekomunikačními poskytovateli. Síť páté generace jsou zatím nejčastěji využívány ke sběru informací, navigování autonomních dopravních systémů a strojovému vidění pomocí kamer ve vysokém rozlišení. Některé společnosti také provozují dálkově ovládaná vozidla, aby podpořily bezpečnost na pracovišti.

V následující části byl vypracován dotazník zabývající se postojem podniků k využití 5G. Dotazník sloužil k doplnění a ověření informací, které jsem v průběhu vypracování této práce získal. Mezi nejdůležitější zjištění i přes poměrně malý počet získaných odpovědí od podniků bych zařadil, že podniky se ve většině případů o využití 5G zajímají a také že 5G síť jsou schopny podpořit řešení, které by podniky rády v budoucnu zavedly. Zjištěné informace o správě sítí však nenavědčují tomu, že by si správu sítí v podniku samo chtělo dělat pouze jen malé procento těch největších firem, jak uvádějí někteří poskytovatelé komunikačních sítí ve svých dokumentech.

Síť páté generace s sebou přináší velký potenciál pro využití v průmyslové výrobě, avšak je zapotřebí více reálných příkladů z praxe, která tato teoretická tvrzení podpoří. Jsem toho názoru, že s přibývajícími reálnými případy využití 5G je čím dál tím více firem bude implementovat do svých výrobních hal a areálů. V současné a nejspíše ani blízké době 5G

zcela nenahradí kabelové připojení u kriticky náročných aplikací a strojů, ale reálné příklady jako spojení 5G s TSN ukazují cestu, že to v budoucnu bude možné. 5G tak převážně podpoří již současná využití, bezdrátových připojení a mobilních sítí. Nejvíce z vylepšených standardů sítě tak mohou těžit případy využití, jako jsou autonomní dopravní systémy, automatická kontrola kvality materiálu a výrobků, různý sběr dat ze senzorů a IoT zařízení a jejich následné vyhodnocení pomocí datových analýz. Předpokládám, že nový standard sítí najde uplatnění i při virtuální a rozšířené realitě, kde umožní větší mobilitu těchto zařízení. Jak rychle a jak moc se 5G sítě rozšíří po světě a najdou si svoji cestu do výroby, záleží na mnoha faktorech. Vláda by se však měla snažit nezůstat s implementací 5G na území České republiky příliš pozadu, jelikož by podniky mohly postupem času ztratit svoji konkurenceschopnost.

REFERENCE

- [1.] Panetta, Kasey. [www.gartner.com](https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020/). *5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*, 2020. [Online] 16. 8. 2020. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020/>.
- [2.] Gao, Xiwen Wang and Longxiang. *When 5G Meets Industry 4.0*. Singapore : Springer, 2020. 978-981-15-6731-5.
- [3.] Vora, Ms. Lopa J. [www.danspela.com](http://www.danspela.com/pdf/p113.pdf). *EVOLUTION OF MOBILE GENERATION TECHNOLOGY: 1G TO 5G*. [Online] 2015. <http://www.danspela.com/pdf/p113.pdf>. 2349-9745.
- [4.] Joon-ho, Hwang. [www.asiae.co.kr](http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2019040610062165080). *40 000 předplatitelů od prvního dne 5G*. [Online] 4. 6. 2019. <http://view.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2019040610062165080>.
- [5.] [samsung.com](https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/w-hite-paper/who-and-how_making-5g-nr-standards/who-and-how_making-5g-nr-standards.pdf). *Who and How: Making 5G NR standards*. [Online] https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/w-hite-paper/who-and-how_making-5g-nr-standards/who-and-how_making-5g-nr-standards.pdf.
- [6.] [www.gsma.com](https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf). *THE 5G GUIDE*. [Online] 4. 2019. https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf.
- [7.] [www.3gpp.org](https://www.3gpp.org/release-15). *Release 15*. [Online] 26. 4. 2019. <https://www.3gpp.org/release-15>.
- [8.] [www.3gpp.org](https://www.3gpp.org/release-16). *Release 16*. [Online] 2020. <https://www.3gpp.org/release-16>.
- [9.] [www.3gpp.org](https://www.3gpp.org/release-17). *Release 17*. [Online] 2020. <https://www.3gpp.org/release-17>.
- [10.] [www.youtube.com](https://www.youtube.com/watch?v=mul8etEr-Lk). *Videokonference na téma 5G sítě*. [Online] ZiveCZ, 22. července 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=mul8etEr-Lk>
- [11.] [amsp.cz](https://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/11/Implementace-a-rozvoj-siti-5G-v-Ceske-republice.pdf). *Implementace a rozvoj sítí 5G v České republice*. [Online] 2019. <https://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/11/Implementace-a-rozvoj-siti-5G-v-Ceske-republice.pdf>.
- [12.] [gsma.com](https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/03/5G-Spectrum-Positions.pdf). *5G Spectrum*. [Online] 3. 2020. <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/03/5G-Spectrum-Positions.pdf>.
- [13.] Sundeep Rangan, Theodore S. Rappaport, Elza Erkip. *Millimeter-Wave Cellular Wireless Networks: Potentials and Challenges*. [Online] 5. 2. 2014. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6732923>. 1558-2259.
- [14.] M. Rebato, M. Mezzavilla, S.Rangan, F. Boccardi, M. Zorzi. *Understanding Noise and Interference Regimes in 5G Millimeter-Wave Cellular Networks*. Oulu : 2016. 978-3-8007-4221-9.
- [15.] Parej, Ezequiel Lopez. [www.intraway.com](https://www.intraway.com/blog/what-are-5g-small-cells). *What are 5G Small Cells and Why the Interest Now?* [Online] 21. 2. 2020. <https://www.intraway.com/blog/what-are-5g-small-cells>.
- [16.] Český telekomunikační úřad. [www.ctu.cz](https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyzva-k-uplatneni-pripominek-k-predbezne-analyze-trhu-mobilniho-backhau/obrazky/predbeznaanalyzamilanibackhaulverzeprovkverejna.pdf). *Předběžná analýza trhu mobilního backhau*. [Online] <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyzva-k-uplatneni-pripominek-k-predbezne-analyze-trhu-mobilniho-backhau/obrazky/predbeznaanalyzamilanibackhaulverzeprovkverejna.pdf>.
- [17.] [www.youtube.com](https://www.youtube.com/watch?v=chmZ8cdyTMc). *Towards 6G: Massive MIMO is a Reality What is Next?* [Online] Wireless Future 23.4. 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=chmZ8cdyTMc>
- [18.] [www.youtube.com](https://www.youtube.com/watch?v=xGkyZw98Tug). *Basics of Antennas and Beamforming - Massive MIMO Networks*. [Online] Wireless Future 29.11. 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=xGkyZw98Tug>

- [19.] Robin Chataut, Robert Akl. www.ncbi.nlm.nih.gov. *Massive MIMO Systems for 5G and beyond Networks—Overview, Recent Trends, Challenges, and Future Research Direction* [Online] květen 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7284607/>
- [20.] Mohamed Rihan, Tarek Abed Soliman, Chen Xu, Lei Huang, Moawad I. Dessouky. ieeexplore.ieee.org. *Taxonomy and Performance Evaluation of Hybrid Beamforming for 5G and Beyond Systems*. [Online] 31. 3 2020. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9051735>. 2169-3536.
- [21.] Marta Gatnau Sarret, Gilberto Berardinelli, Nurul H. Mahmood, Marko Fleischer, Preben Mogensen & Helmut Heinz. springeropen.com. *Analyzing the potential of full duplex in 5G ultra-dense small cell networks*. [Online] 13. 12 2016. <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-016-0780-4>.
- [22.] apprenda.com. *IaaS, PaaS, SaaS*. [Online] <https://apprenda.com/library/paas/iaas-paas-saas-explained-compared/>.
- [23.] 5gamericas.org. *5G and the cloud*. [Online] 12 2019. https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/12/5G-Americas_5G-and-the-Cloud..pdf.
- [24.] Podhradský Pavel, Helebrandt Pavel, Halagan Tomáš, Drozd Ivan. *Sítě budoucnosti - SDN a NFV*. Praha : České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická, 2017. 978-80-01-06246-3.
- [25.] www.youtube.com. *Introduction to NFV Network function Virtualization Basics - NFV Architecture and ETSI - NFV MANO*. [Online] TelecomTutorial info, 26. listopadu 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=VI5UJUR1uV4&t=746s>
- [26.] www.youtube.com. *Introduction to SDN (Software defined network) - SDN and Openflow Architecture*. [Online] TelecomTutorial info, 3. prosince 2018. <https://www.youtube.com/watch?v=TQVI5-G3u2U>
- [27.] www.gsma.com. *An Introduction to Network Slicing*. [Online] 2017. <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf>.
- [28.] Kavanagh, Sacha. 5g.co.uk. *What is enhanced Mobile Broadband*. [Online] <https://5g.co.uk/guides/what-is-enhanced-mobile-broadband-emb/>.
- [29.] www.ericsson.com. *Achieving industrial automation protocols with 5G URLLC*. [Online] 2020. <https://www.ericsson.com/en/networks/cases/accelerate-factory-automation-with-5g-urllc>.
- [30.] Uppal, Ajay. iot.electronicshobby.com. *5G mMTC: Challenges and Solutions*. [Online] 6. 9 2019. <https://iot.electronicshobby.com/content/tech-trends/5g-mmtc-challenges-and-solutions/>.
- [31.] tttech-industrial.com. *Industrial Edge Computing*. [Online] <https://www.tttech-industrial.com/technologies/edge-computing/>.
- [32.] www.bmwi.de. *Guidelines for 5G Campus Networks – Orientation for Small and Medium-Sized Businesses*. [Online] duben 2020. https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Digitale-Welt/guidelines-for-5g-campus-networks-orientation-for-small-and-medium-sized-businesses.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- [33.] BROWN, GABRIEL. *Private 5G Mobile Networks for Industrial IoT*. [Online] Červenec 2019. https://theinternetofthings.report/Resources/Whitepapers/6f44de77-8426-48b1-b858-0f8c6fa7b648_private-5g-networks-for-industrial-iot.pdf.
- [34.] Dr. Julius Mennig, Laura Hajek, Philipp Münder. www.umlaut.com. *5G in*

- Production*. [Online] 31. říjen 2019. https://www.umlaut.com/uploads/documents/200331_Whitepaper_5GinProduction_umlaut.pdf.
- [35.] Krister Landernäs. 5gsmart.eu. *FORWARD LOOKING SMART MANUFACTURING USE CASES, REQUIREMENTS AND KPIS*. [Online] 30.. červen 2020. <https://5gsmart.eu/wp-content/uploads/5G-SMART-DI.1.pdf>.
- [36.] www.gsma.com. *Factory Efficiency 5G Era IoT Use Cases and Benefits*. [Online] Listopad 2020. <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-GSMA-Manufacturing-Benefits-Props-Factory-Efficiency.pdf>.
- [37.] assets.publishing.service.gov.uk. *5G Sector Testbeds and Trials*. [Online] duben 2019. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/823494/Industrial_5G_Testbeds_and_Trials_-_Sectors_Analysis_-_Digital_Catapult_-_April_2019.pdf.
- [38.] www.youtube.com. *5G Smart Factories*. [Online] Qualcomm, 26. březen 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=TKlIKYpUtHw>.
- [39.] Jessie Chang, Joe Guan, Hubert Guan. www.gsma.com. *5G Use Cases for Verticals China*. [Online] 2020. <https://www.gsma.com/greater-china/wp-content/uploads/2020/03/5G-Use-Cases-for-Verticals-China-2020.pdf>.
- [40.] www.gov.cn. *Smart washing machine plant running at full speed in Tianjin*. [Online] 24. leden 2020. http://english.www.gov.cn/news/photos/202006/24/content_WS5ef2ceaac6d0a6946639ca5b.html.
- [41.] www.youtube.com. *The world's first 5G powered Smart Textile Factory*. [Online] ZTE CloudCore, 21. duben 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=oLXVyuVnrZw>.
- [42.] James Blackman . enterpriseiotinsights.com. *VW and BMW raise industrial 5G stakes – how German car giants are tooling up for Industry 4.0*. [Online] 10.. únor 2020. <https://enterpriseiotinsights.com/20200210/channels/fundamentals/vw-and-bmw-raise-industrial-5g-stakes>.
- [43.] www.audi-mediacycenter.com. *5G in production: Audi and Ericsson take the next step together*. [Online] 18.. únor 2020. <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/5g-in-production-audi-and-ericsson-take-the-next-step-together-12578>.
- [44.] mapifoundation.org. *5G AND THE FACTORY FLOOR*. [Online] 2020. <https://mapifoundation.org/5g-use-cases>.
- [45.] www.daimler.com. *Factory 56*. [Online] <https://www.daimler.com/innovation/production/factory-56.html>.
- [46.] www.youtube.com. *Mercedes-Benz Factory 56: Voll flexible Produktion*. [Online] Daimler AG, 21. listopad 2020. https://www.youtube.com/watch?v=-iJu8EU3_YU.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Dotazník

PŘÍLOHA č. 1

Dotazník

Analýza využití 5G sítí v podniku

Kolik má podnik, ve kterém pracujete, zaměstnanců?

- Méně než 10 zaměstnanců
- 10–50 zaměstnanců
- 51–250 zaměstnanců
- 251 a více zaměstnanců

Do jakého průmyslového oboru se řadí váš podnik? *

- Strojírenský
- Chemický
- Potravinářský
- Hutnický
- Textilní
- Dřevozpracující
- Jiná...

Jaká síť je v současnosti využívána ve vašem podniku?

- Wi-Fi
- 3G
- 4G/LTE
- 5G

Sledujete situaci kolem 5G sítí a jejich možné využití v podniku?

- | | | | | | | |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Ano, velmi | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Vůbec |

K jakým úkolům využíváte sítě v podniku?

- Lokalizace a sledování (materiálu, produktů)
- Autonomní dopravní systémy (AGV, IGV)
- Analýza dat z podniku
- Prediktivní údržba
- Virtuální a rozšířená realita (VR/AR)
- Roboty + Kolaborativní roboty
- Automatická kontrola kvality a procesů
- Řízení prostředí v továrně (řízení energie a tepla)
- Monitorování prostředí (strojové vidění – kamery)
- Monitorování strojů a zařízení (senzory, IoT)
- Monitorování obrobku a nástroje
- Jiná...

K jakým úkonům byste chtěli/plánujete využívat sítě v budoucnu?

- Lokalizace a sledování (materiálu, produktů)
- Autonomní dopravní systémy (AGV, IGV)
- Analýza dat z podniku
- Prediktivní údržba
- Virtuální a rozšířená realita (VR/AR)
- Roboty + Kolaborativní roboty
- Automatická kontrola kvality a procesů
- Řízení prostředí v továrně (řízení energie a tepla)
- Monitorování prostředí (strojové vidění – kamery)
- Monitorování strojů a zařízení (senzory, IoT)
- Monitorování obrobku a nástroje
- Jiná...

Myslíte si, že při zavádění 5G sítě v podniku by měl podnik zájem spíše o soukromé kampusové 5G sítě, nebo předpokládáte, že by stačilo připojení k veřejné síti?

- Soukromé kampusové 5G sítě
- Veřejná 5G síť

Správu 5G sítě v podniku by případně byla zajišťována interně, nebo externí firmou/operátorem?

- Interně
- Externí firmou/operátorem