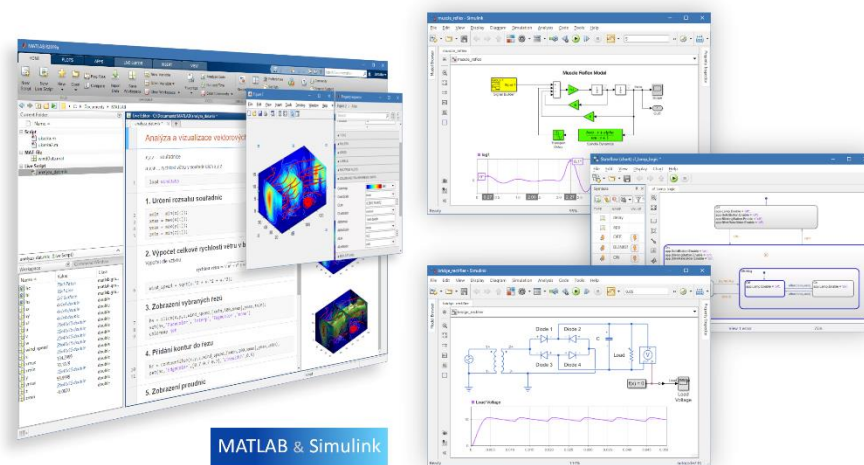


9.9.2021 Brno

TCC 2021

Bezdrátové komunikační systémy

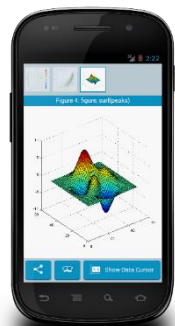


Jaroslav Jirkovský
jirkovsky@humusoft.cz

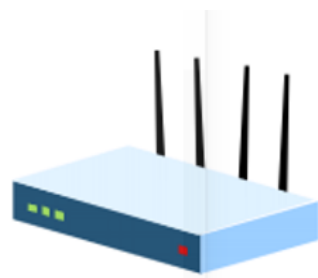
www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

www.mathworks.com

RF systémy



Mobilní zařízení



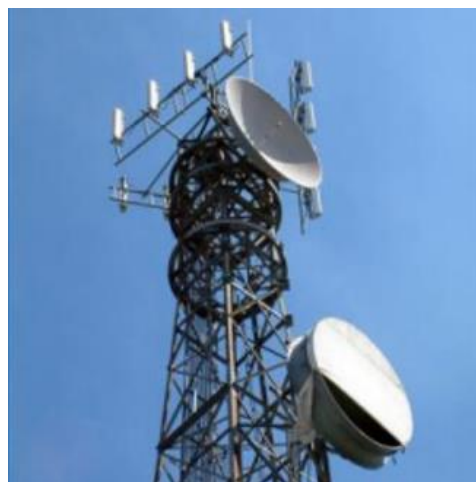
Bezdrátové připojení



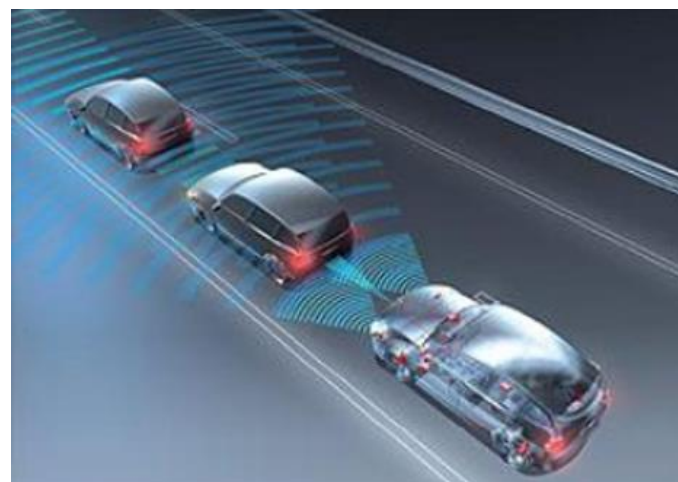
Radarové systémy



Satelitní komunikace



Mobilní základnové stanice



Systémy ADAS

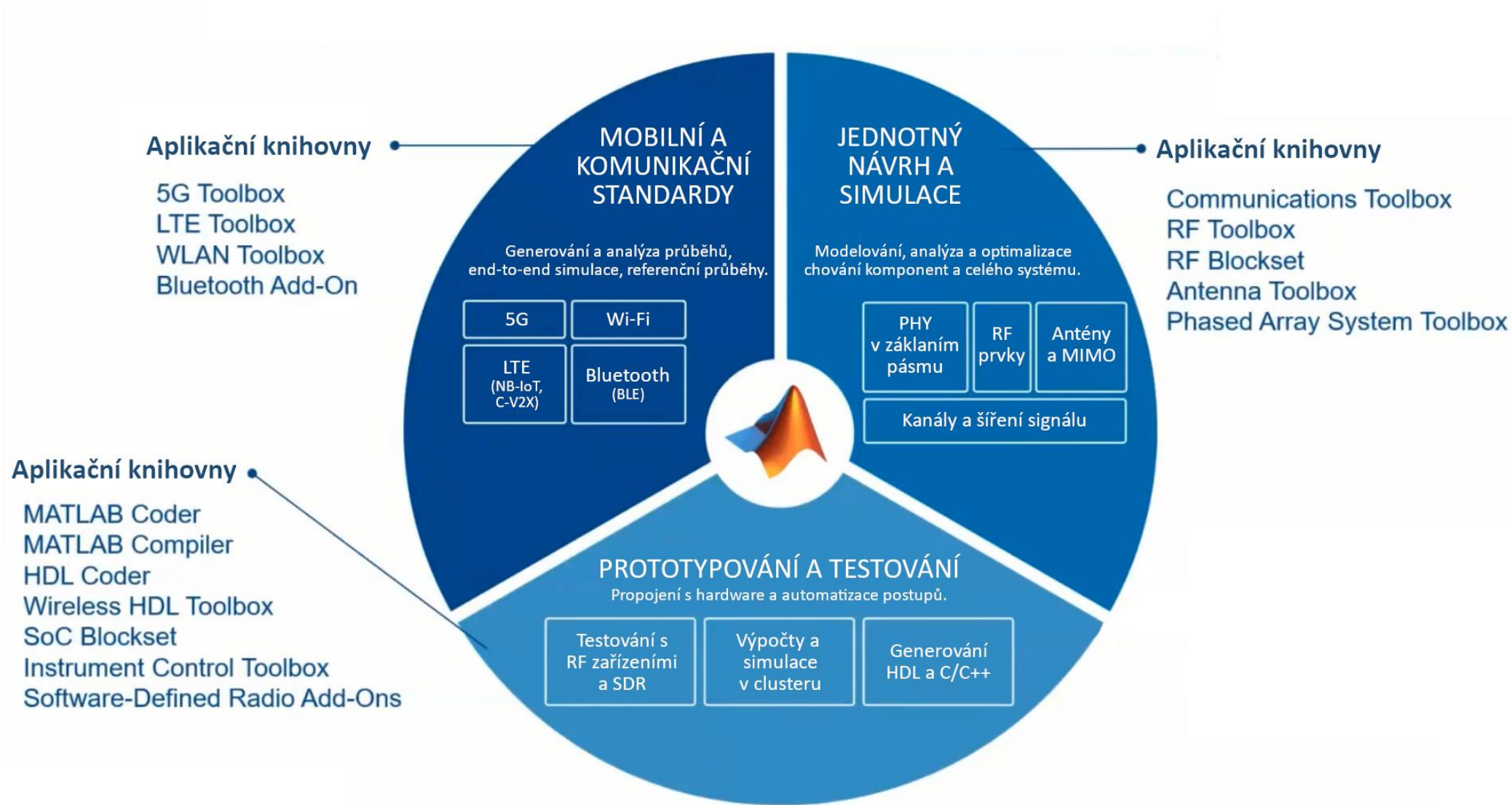


Anténní pole

Bezdrátové komunikační systémy a MATLAB & Simulink

- Prověření koncepce návrhu systému a algoritmů
 - „end-to-end“ simulace
 - přenos signálu „over-the-air“
 - simulace na úrovni scénářů (multi-platform, multi-emitter)
- Generování (přizpůsobitelných) průběhů
 - standardy 5G, LTE, Wi-Fi, ...
- Tvorba modelů
 - digitální prvky, RF a anténní prvky
 - posouzení chování systému a jeho optimalizace
- Automatické generování kódu v jazyce HDL nebo C
 - prototypování a implementace bez ručního psaní kódu, SDR

Bezdrátové komunikační systémy a MATLAB & Simulink



End-to-end simulace

Algoritmy
Modulace, beamforming, synchronizace

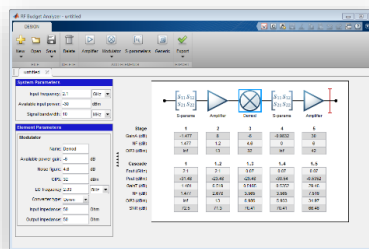
```

% Establish the number of component carriers.
numCC = length(NDLRB);

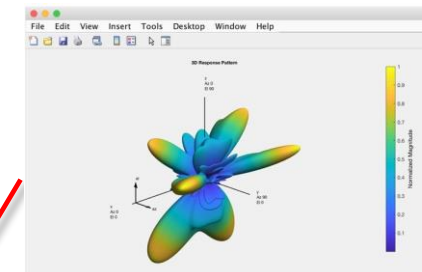
% Create transmission for each component carrier
enb = cell(1,numCC);
for i = 1:numCC
    enb{i} = lteRMCDL('R.5');
    enb{i}.NDLRB = NDLRB(i);
end
    
```

Č

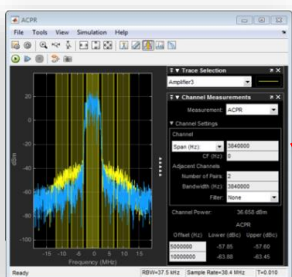
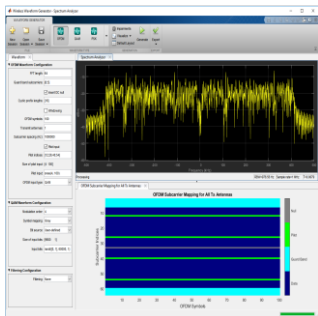
Zkreslení v RF prvcích
Nelinearity, šum



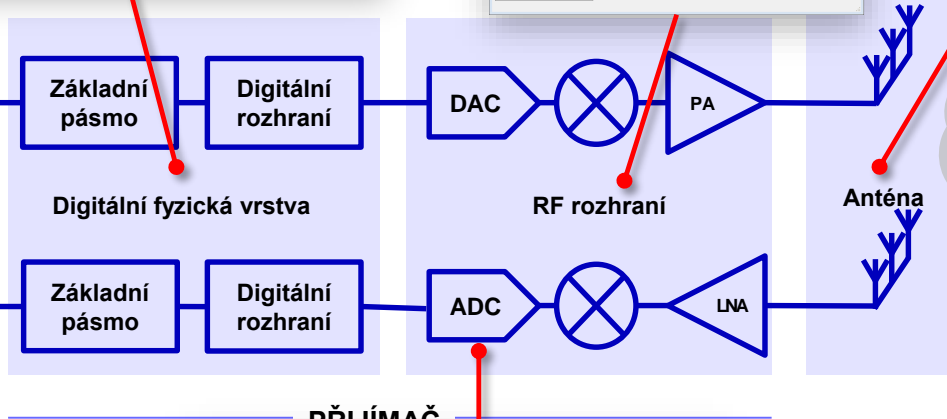
Antény
Anténní prvky, konfigurace



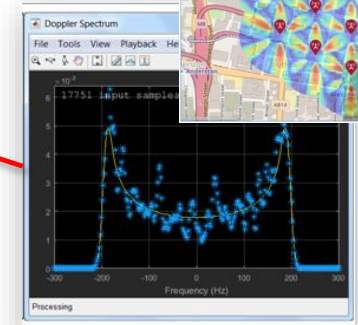
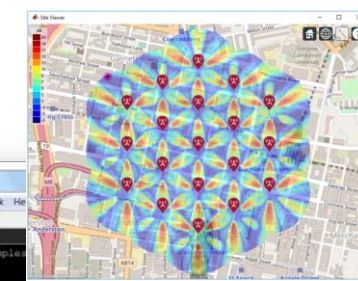
Průběhy
5G, WLAN, vlastní



Měření
EVM, BER, ACLR

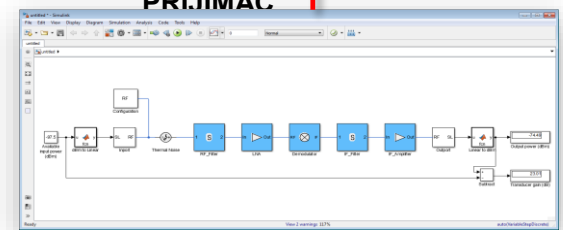


Přenosový kanál



Přenosový kanál
Šum, interference

Prvky se smíšenými signály
Diskrétní a spojité prvky

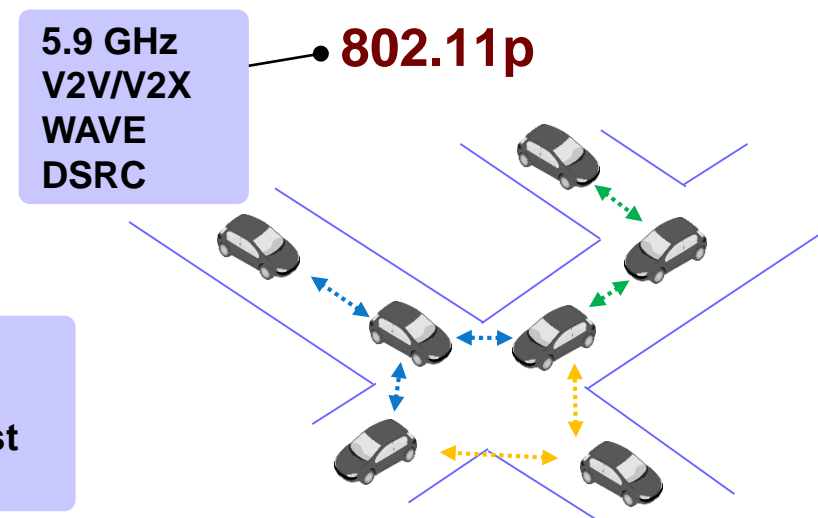
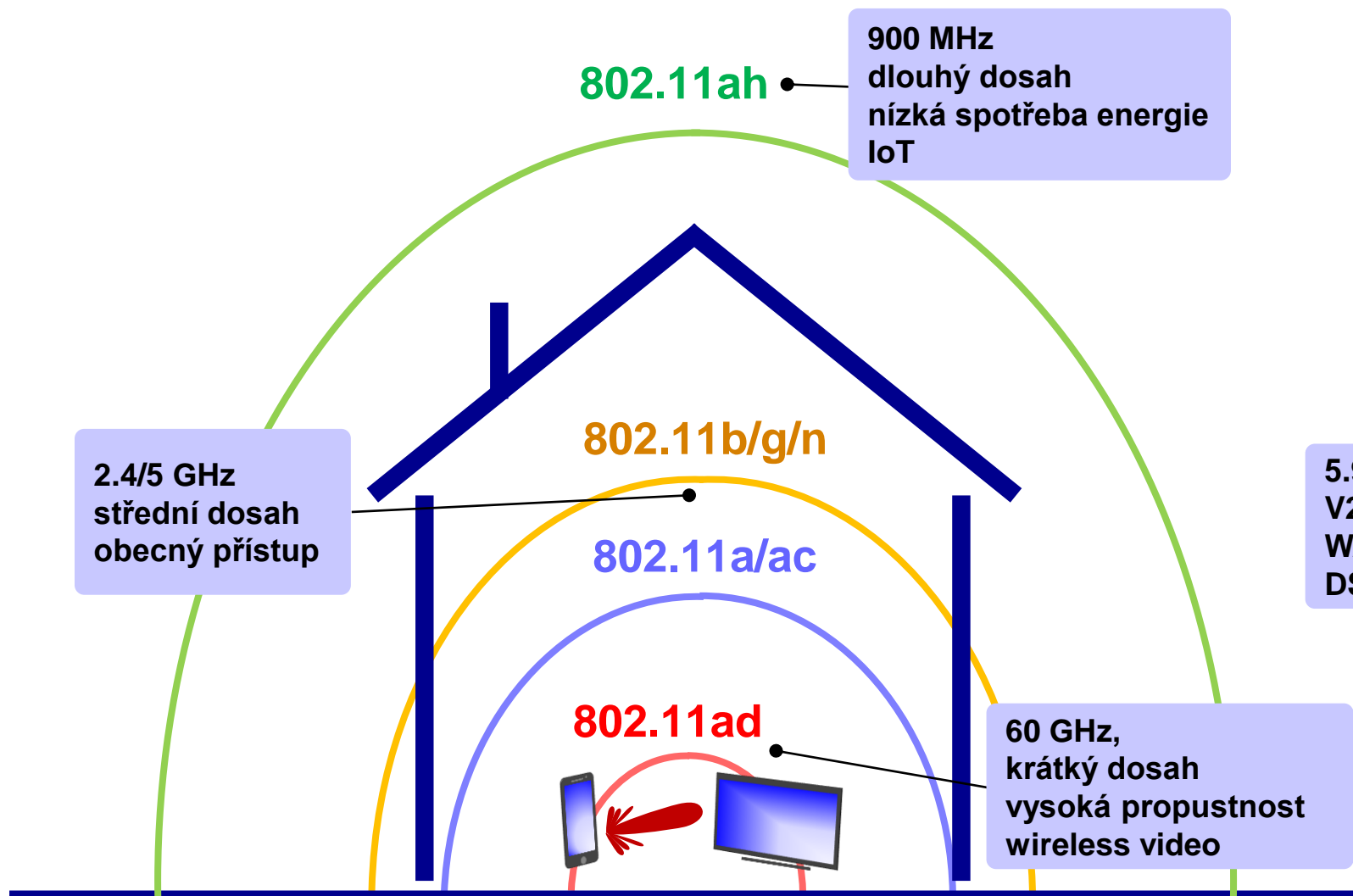


Komunikační standardy

- 5G
- LTE
- Wi-Fi
- Bluetooth

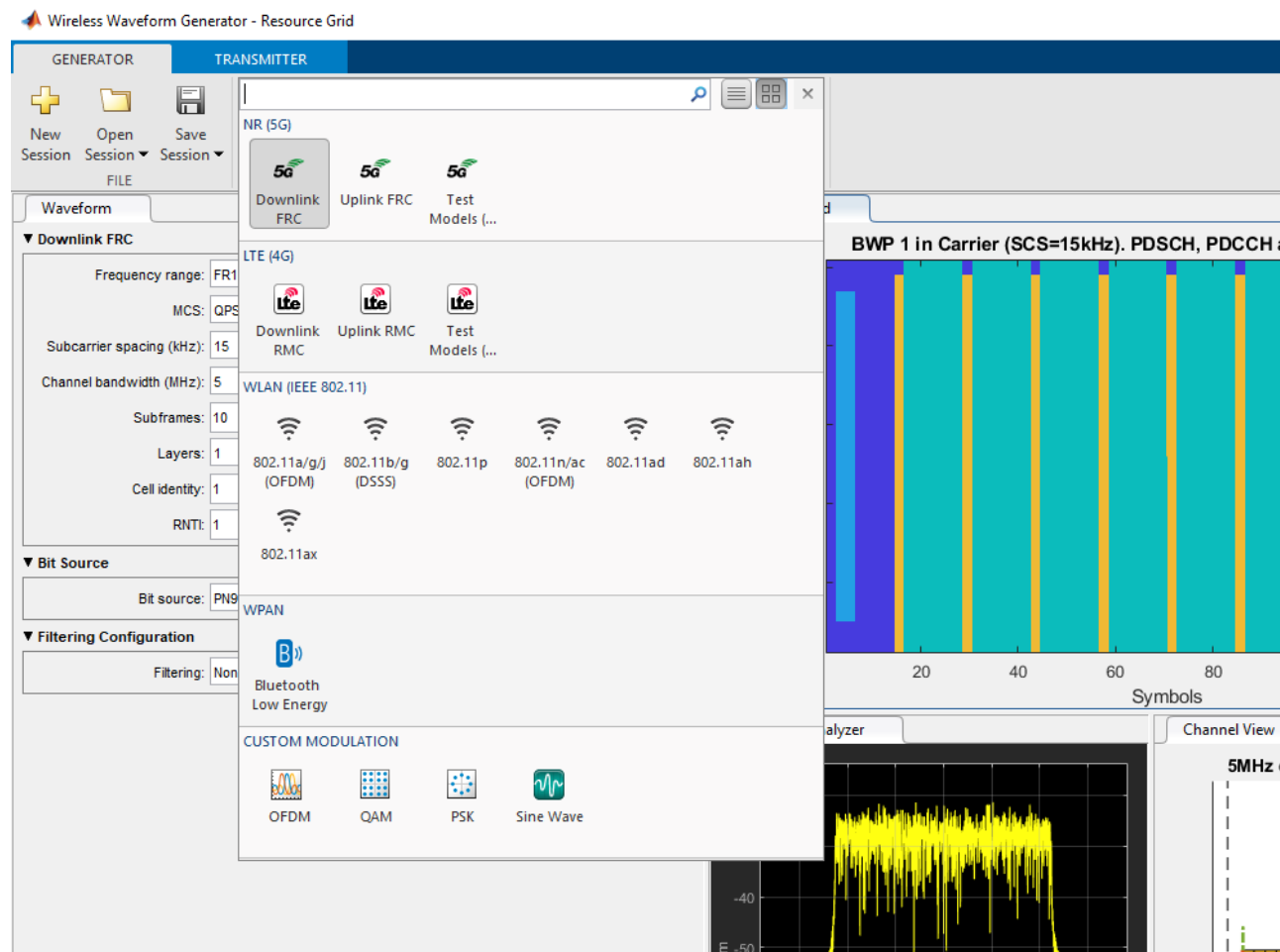


Dnešní Wi-Fi systémy



Generování průběhů: Waveform Generator App

- Grafická aplikace
 - intuitivní ovládání
- Volba standardu
 - 5G, LTE, WLAN, BLE
 - OFDM, PSK, QAM
- Zkreslení signálu přenosem
 - AWGN a další
- Použití
 - testování systémů
 - reference k posouzení shody

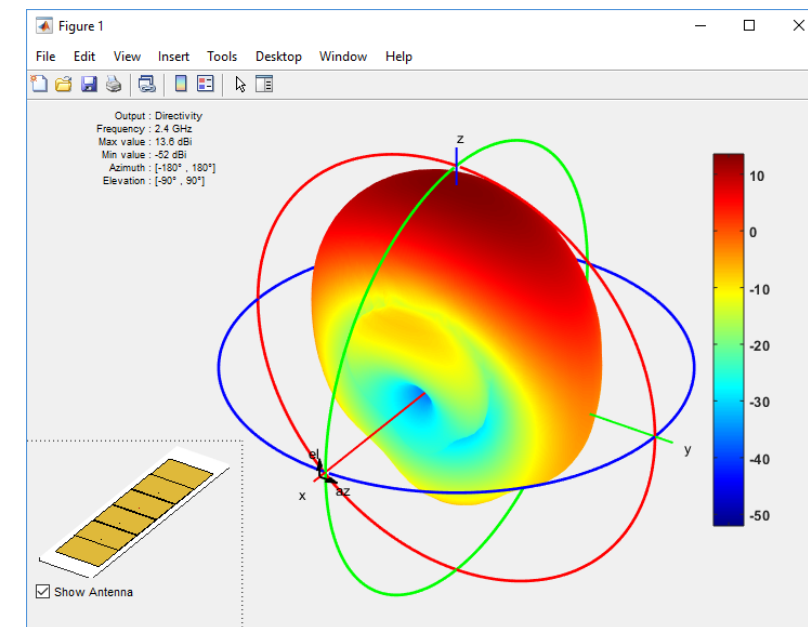
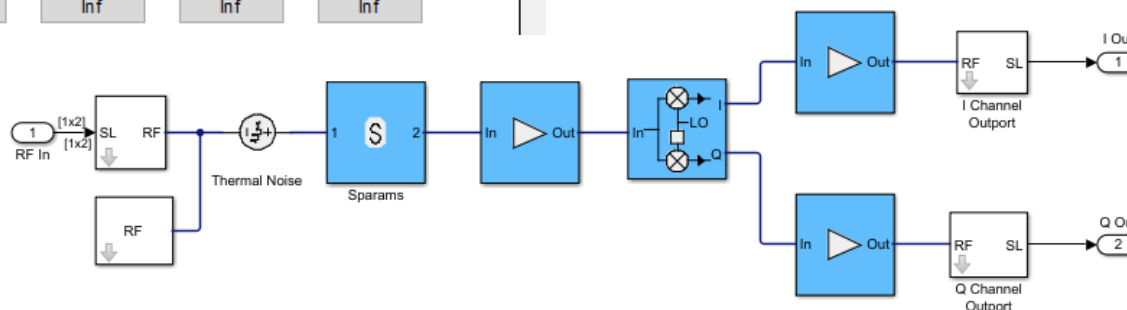
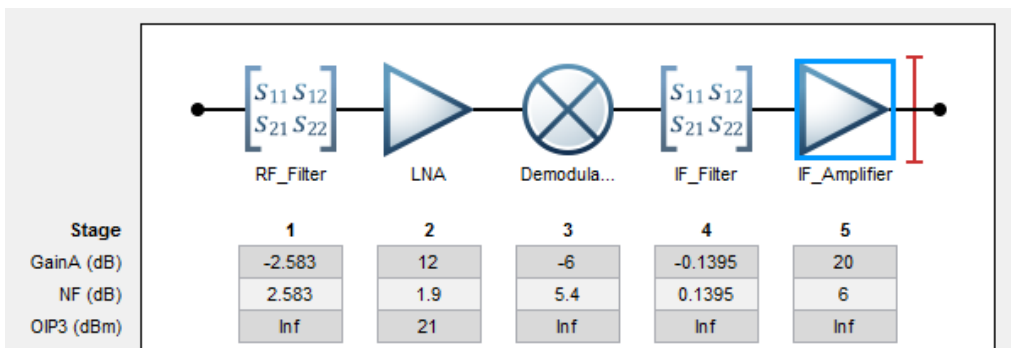


Modelování a end-to-end simulace

- Modelování komunikačních systémů na úrovni propojení
 - modulace a kódování kanálu
 - modelování přijímače a synchronizace, obnovení informace přenášené v signálu
- Modelování přenosové cesty
 - model šumu a ztrát v přenosovém kanálu (AWGN, Rayleigh, Rician, WINNER II)
 - rušení, interference, atmosférické efekty
- Beamforming
 - zlepšení výkonnosti propojení pomocí tvarování paprsku
- Posouzení systému
 - metriky (BER, PER, propustnost, EVM), vizualizace (Constellation Diagram, spektrum)
- MIMO a Massive MIMO

RF modely (na systémové úrovni)

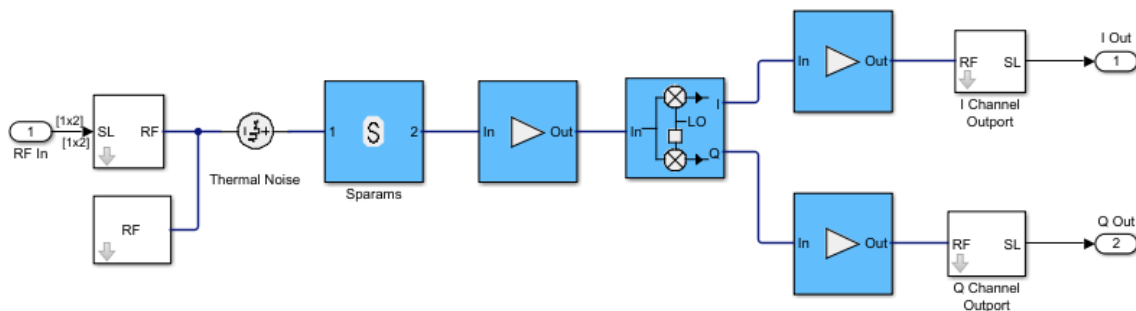
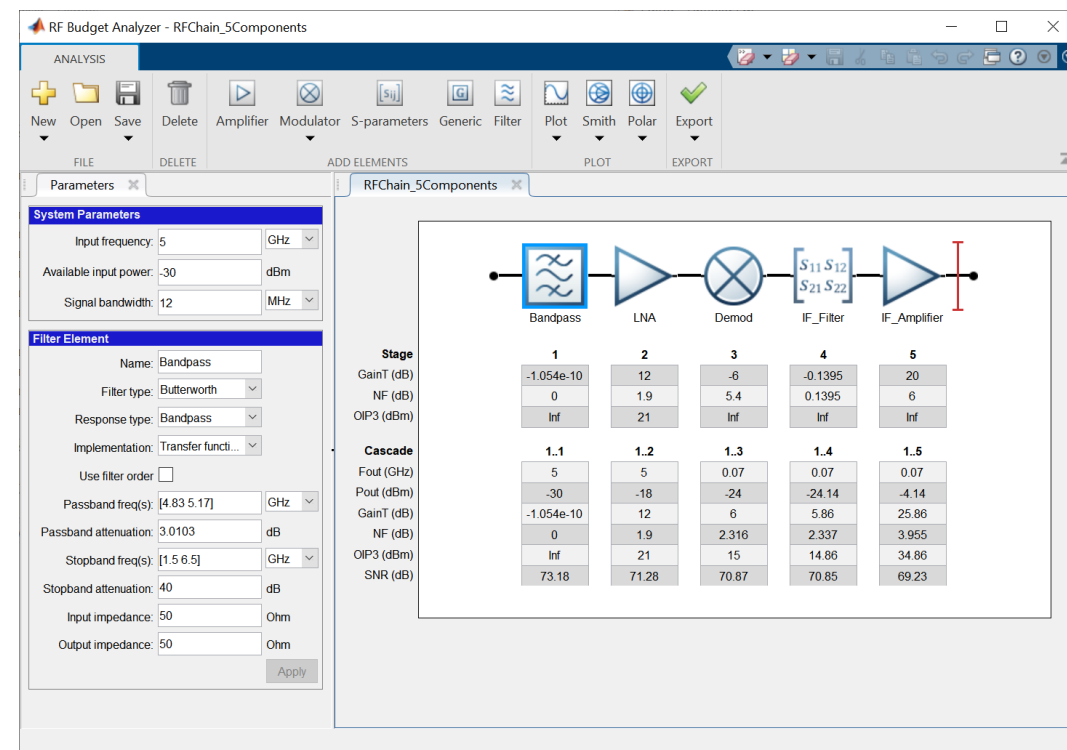
- Návrh architektury a specifikace RF komponent
- Spojení RF prvků s adaptivními algoritmy (DPD, AGC, beamforming)
- Testování a ladění vysílače/přijímače před laboratorními zkouškami



Analýza RF řetězce

- Analýza všech zisků a ztrát z vysílače, přes médium (volný prostor, kabel, vlnovod, vlákno atd.) do přijímače v telekomunikačním nebo radarovém systému.

- RF Budget Analyzer app
- model v prostředí Simulink (RF Blockset)
 - Circuit Envelope = Multi-Carrier Simulation

RFChain_5Components

System Parameters

- Input frequency: 5 GHz
- Available input power: -30 dBm
- Signal bandwidth: 12 MHz

Filter Element

- Name: Bandpass
- Filter type: Butterworth
- Response type: Bandpass
- Implementation: Transfer functi...
- Use filter order:
- Passband freq(s): [4.83 5.17] GHz
- Passband attenuation: 3.0103 dB
- Stopband freq(s): [1.5 6.5] GHz
- Stopband attenuation: 40 dB
- Input impedance: 50 Ohm
- Output impedance: 50 Ohm

Stage

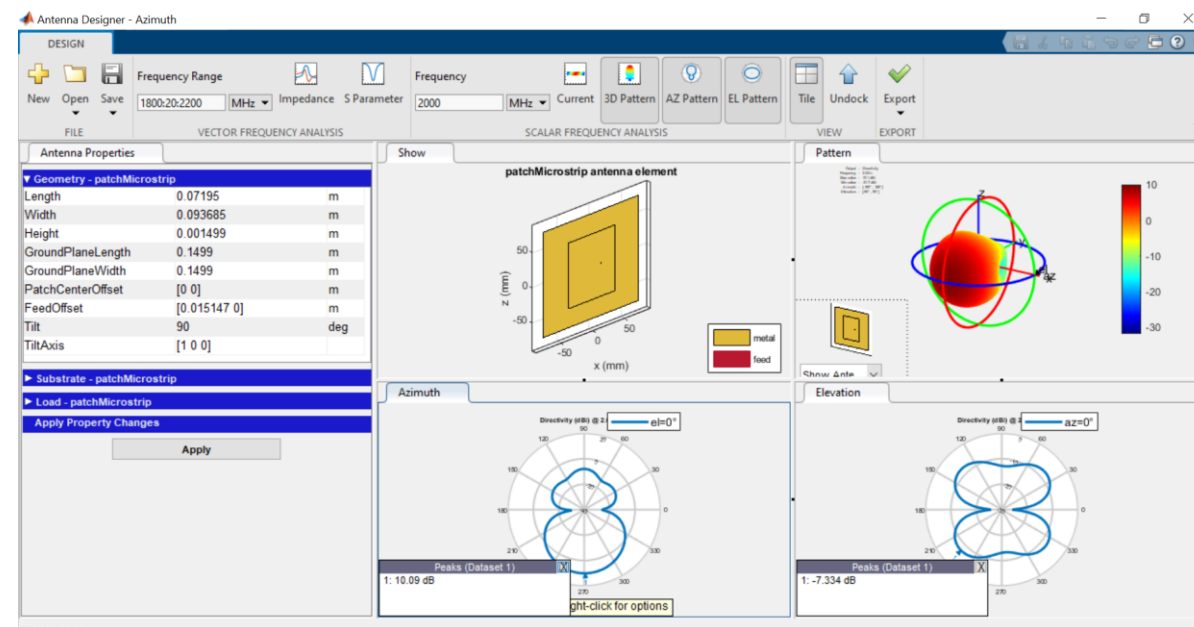
	1	2	3	4	5
GainT (dB)	-1.054e-10	12	-6	-0.1395	20
NF (dB)	0	1.9	5.4	0.1395	6
OIP3 (dBm)	Inf	21	Inf	Inf	Inf

Cascade

	1..1	1..2	1..3	1..4	1..5
Fout (GHz)	5	5	0.07	0.07	0.07
Pout (dBm)	-30	-18	-24	-24.14	-4.14
GainT (dB)	-1.054e-10	12	6	5.86	25.86
NF (dB)	0	1.9	2.316	2.337	3.955
OIP3 (dBm)	Inf	21	15	14.86	34.86
SNR (dB)	73.18	71.28	70.87	70.85	69.23

Modelování antén a anténních polí

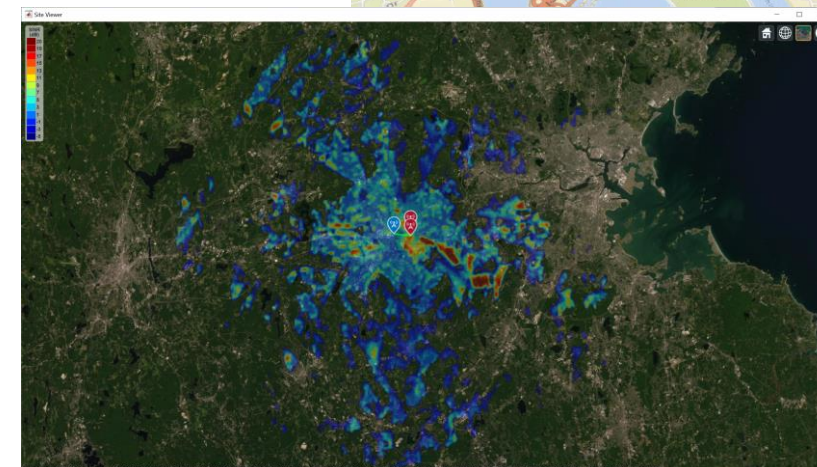
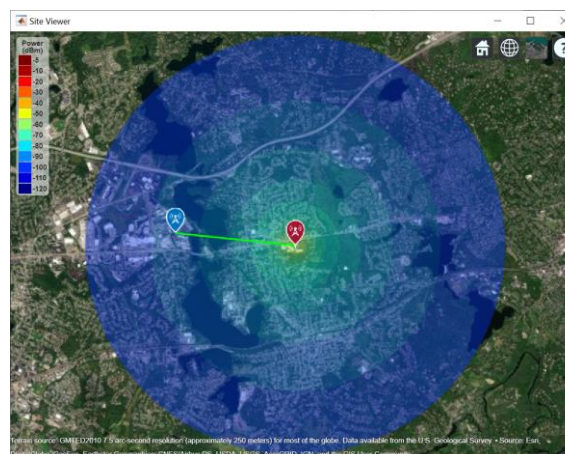
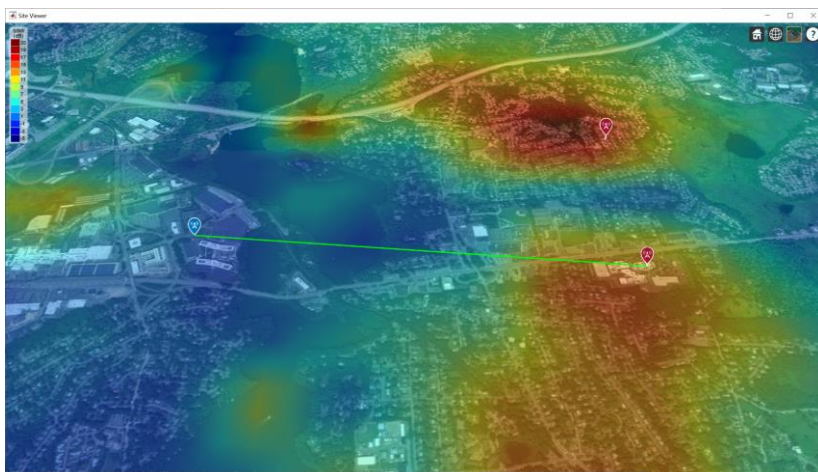
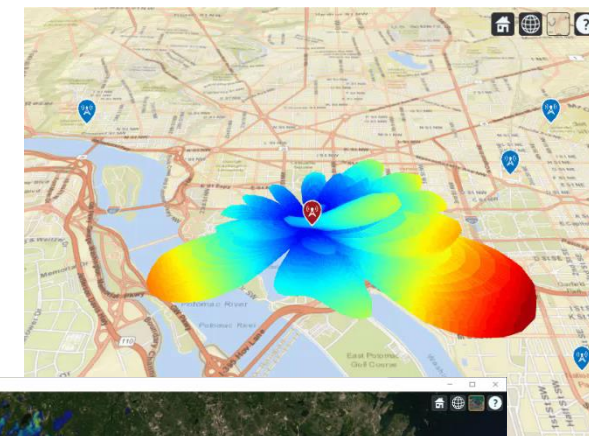
- Výběr typu antény dle specifikace
 - katalog parametrizovaných antén
- Návrh antény na pracovní frekvenci
- Zobrazení výsledků a iterativní nastavení geometrických parametrů
- Samostatné antény
 - Antenna Designer App
- Anténní pole
 - Antenna Array Designer App
 - Sensor Array Analyzer



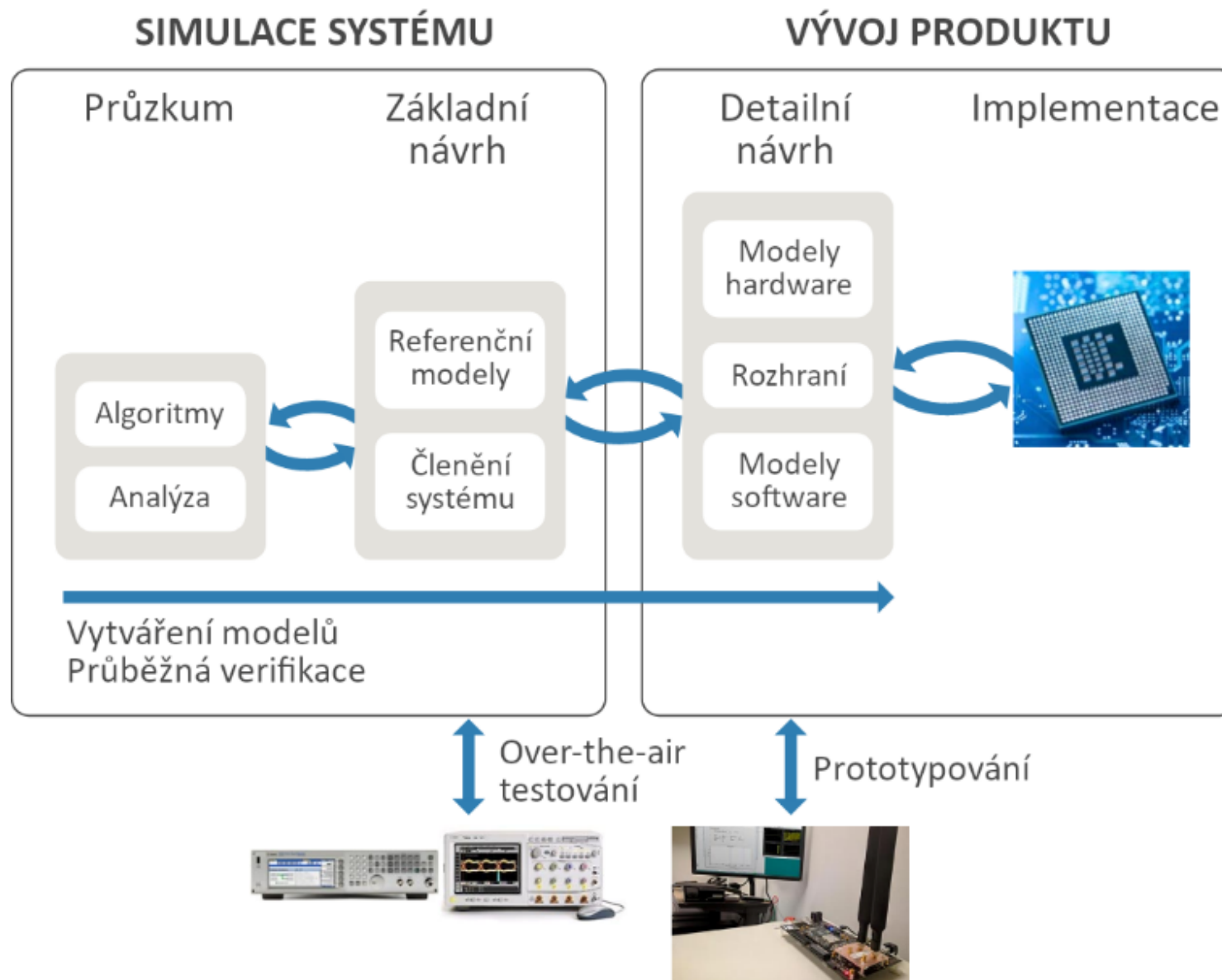
EM simulace metodou momentů (anténa typu Patch Microstrip)

Simulace scénářů pro šíření RF signálu

- Vliv šíření RF signálu na spojení vysílač-přijímač
- Pokrytí signálem na 3D geografické mapě
- Zkoumání vyzařovacích charakteristik a scénářů instalace
- Využití techniky „beamforming“ ke zlepšení dosahu



Od simulace k implementaci

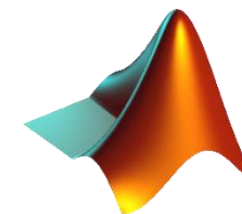


Od simulace k implementaci

- Referenční návrh
- Algoritmus pro koncový hardware
- Architektura datového toku
- Fixed-point implementace
- Optimalizace a generování kódu

```
%% MATLAB reference detector
% this uses high level MATLAB functions
% computing a global maximum requires holding the entire signal at once
% this is impractical in a hardware implementation but serves as a golden
% reference

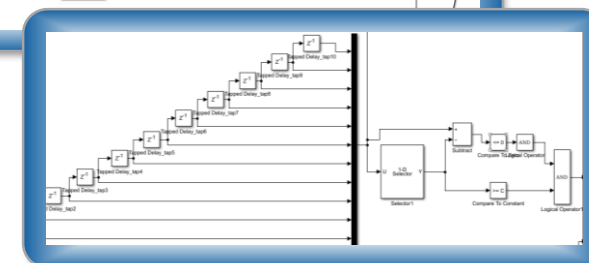
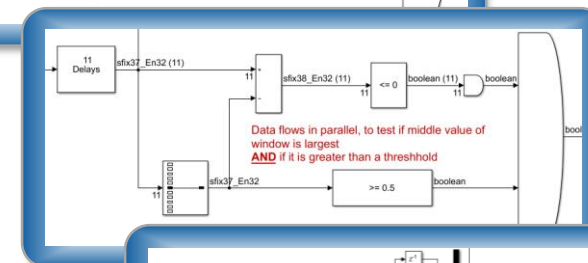
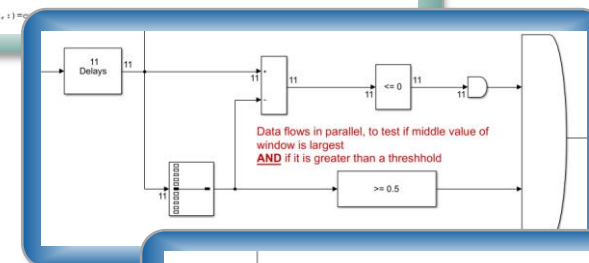
y=filter(CorrelationFilter,1,RxSignal); % correlate against the pulse
[peak, location]=max(abs(y).^2);
fprintf('Found Global Maximum at location %d Value %3.3f \n',location, peak)
```



MATLAB

```
for index =1:length(y)-window_length
% form window of current 11 samples
current_window=y_mag_sq(index:index+window_length-1);
% subtract middle sample from each entry in the window
compare_to_middle_sample=current_window-current_window(6);

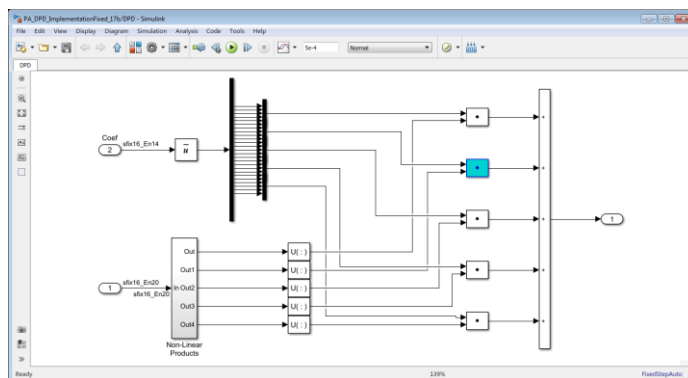
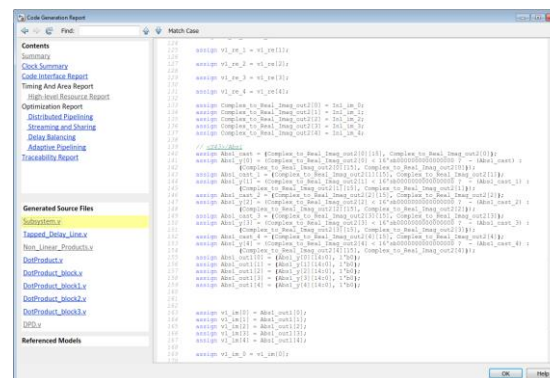
% if all values in the result are <=0 then the middle sample is a local
% max
if max(compare_to_middle_sample)<=0
% if this local peak is also > .05 (threshold), then declare this
% a valid local peak
if current_window(6)>.05
fprintf('Found Local Maximum at location %d Value %3.3f \n',index+5,current_window(6))
end
end
window_log(index,1)=current_window(6);
end
```



Simulink

Od simulace k implementaci

- Automatické generování embedded C kódu
 - optimalizace generovaného kódu dle dané platformy (ARM, SoC)
- Automatické generování HDL kódu (Verilog / VHDL)
 - úprava modelu pro nasazení na HW
 - odhad využití zdrojů
 - optimalizace modelu a generovaného kódu (rychlost, spotřeba zdrojů)

The screenshot shows a 'Code Generation Report' window. On the left, a 'Contents' pane lists various reports like 'Summary', 'Clock Summary', 'Code Interface Report', etc. The 'Generated Source Files' section is expanded, showing files like 'Submodule.y', 'Tapped_Delay_Link.y', and 'Non_Linear_Products.y'. The main area displays a snippet of Verilog code for a multiplier block, including comments and variable declarations.

```

127 assign v1_m_2 = v1_m121;
128 assign v1_m_3 = v1_m131;
129 assign v1_m_4 = v1_m141;
130
131 assign Compres_to_Real_Img_out2100 = 345_m_0;
132 assign Compres_to_Real_Img_out2101 = 345_m_1;
133 assign Compres_to_Real_Img_out2102 = 345_m_2;
134 assign Compres_to_Real_Img_out2103 = 345_m_3;
135 assign Compres_to_Real_Img_out2104 = 345_m_4;
136
137 // multiplier
138 assign Abs1_mult = {Compres_to_Real_Img_out2100, Compres_to_Real_Img_out2101};
139 assign Abs1_mult_1 = {Compres_to_Real_Img_out2102, Compres_to_Real_Img_out2103};
140 assign Abs1_mult_2 = {Compres_to_Real_Img_out2104, Compres_to_Real_Img_out2105};
141 assign Abs1_mult_3 = {Compres_to_Real_Img_out2106, Compres_to_Real_Img_out2107};
142 assign Abs1_mult_4 = {Compres_to_Real_Img_out2108, Compres_to_Real_Img_out2109};
143 assign Abs1_mult_5 = {Compres_to_Real_Img_out2110, Compres_to_Real_Img_out2111};
144 assign Abs1_mult_6 = {Compres_to_Real_Img_out2112, Compres_to_Real_Img_out2113};
145 assign Abs1_mult_7 = {Compres_to_Real_Img_out2114, Compres_to_Real_Img_out2115};
146 assign Abs1_mult_8 = {Compres_to_Real_Img_out2116, Compres_to_Real_Img_out2117};
147 assign Abs1_mult_9 = {Compres_to_Real_Img_out2118, Compres_to_Real_Img_out2119};
148 assign Abs1_mult_10 = {Compres_to_Real_Img_out2120, Compres_to_Real_Img_out2121};
149 assign Abs1_mult_11 = {Compres_to_Real_Img_out2122, Compres_to_Real_Img_out2123};
150 assign Abs1_mult_12 = {Compres_to_Real_Img_out2124, Compres_to_Real_Img_out2125};
151
152
153 assign v1_m10 = Abs1_mult10;
154 assign v1_m11 = Abs1_mult11;
155 assign v1_m12 = Abs1_mult12;
156 assign v1_m13 = Abs1_mult13;
157 assign v1_m14 = Abs1_mult14;
158
159 assign v1_m_2 = v1_m10;
    
```



Děkuji za pozornost