




Autonómna mobilná robotika v poľnohospodárstve

doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.

Aktivity v rastlinnej výrobe

- úprava pôdy,
- sadenie,
- ochrana rastlín,
- výživa rastlín,
- zber.





Dôležité parametre autonómnych strojov

Nízka
hmotnosť

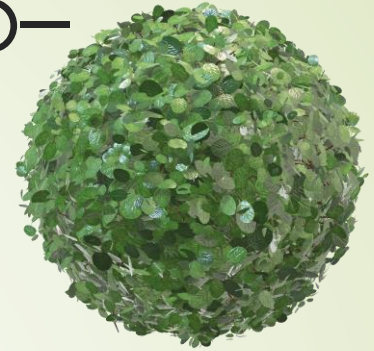
Dlhý dosah

Vysoký
výkon

Presnosť
určenia
polohy

Bezpečnosť

Presné poľnohospodárstvo– Poľnohospodárstvo 4.0



- viac potravín na rovnakej ploche,
- aplikácia nových technológií,
 - zvýšenie výnosov,
 - zníženie vstupov (energie, pôda, voda, hnojivá, chémia),
- sledovanie a analýza údajov v priestore a čase.



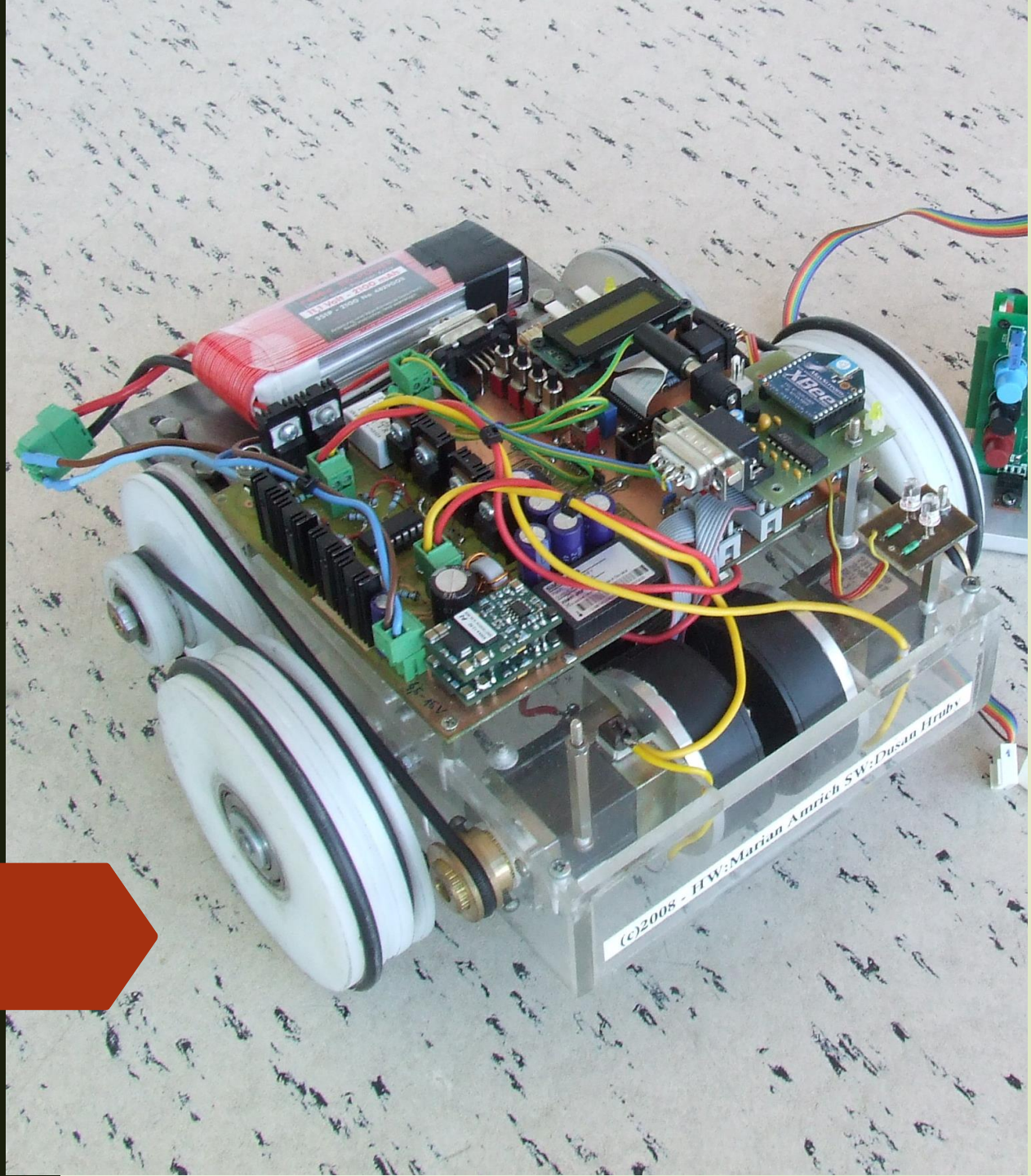
Pol'nohospodárstvo 4.0

- variabilné dávkovanie:
 - insekticídov,
 - pesticídov,
 - hnojív,
 - vody.
- aplikácia je závislá od polohy.

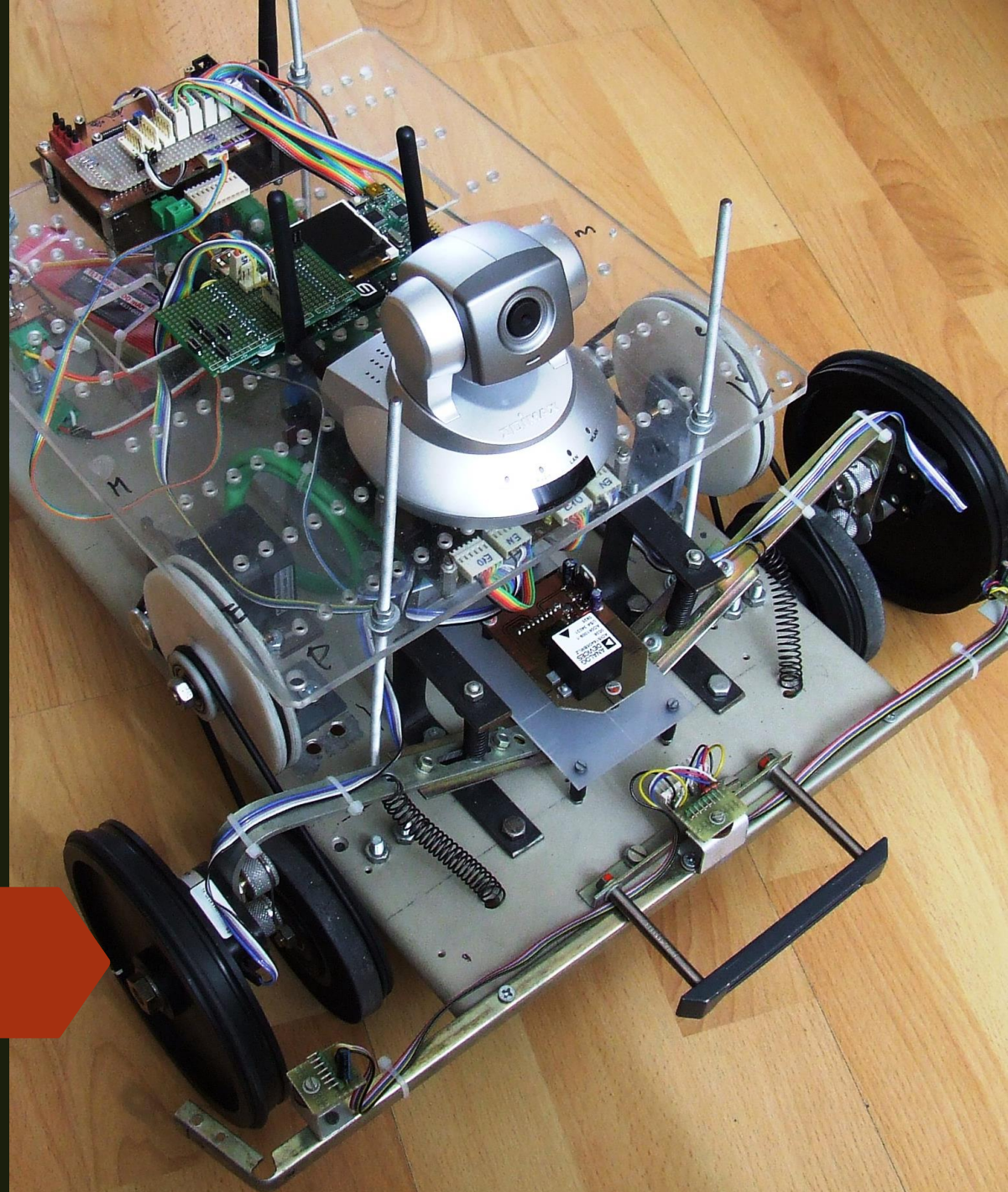
Autonómna mobilná robotika na pracovisku KEAI TF SPU v Nitre

- 2002 – 2007 – sledovanie a mapovanie objektov pomocou robota
- 2007 – návrh a testovanie riadiacich algoritmov na báze PSD a fuzzy na modeli EN10
- 2008 – testovanie použiteľnosti odometrie v systéme autonómneho riadenia na modeli EN20
- 2009 – 2011 – štúdium a realizácia inerciálnej navigačnej jednotky založenej na snímači ADS16405BLMZ a 32-bitovom mikrokontroléri
- 2012 – 2016 – návrh algoritmov pre spracovanie obrazu systémom dvoch kamier s určením do riadkov a radov rastlín
- 2015 – 2019 – práca na navigačných algoritmoch strojového učenia s využitím laserového 2D skenera
- 2019 – realizácia autonómneho mobilného robota SaMoRob a jeho prezentácia na výstave Agrokomplex v Nitre
- 2021 – ukončovacia fáza vývoja prívesu rosiča

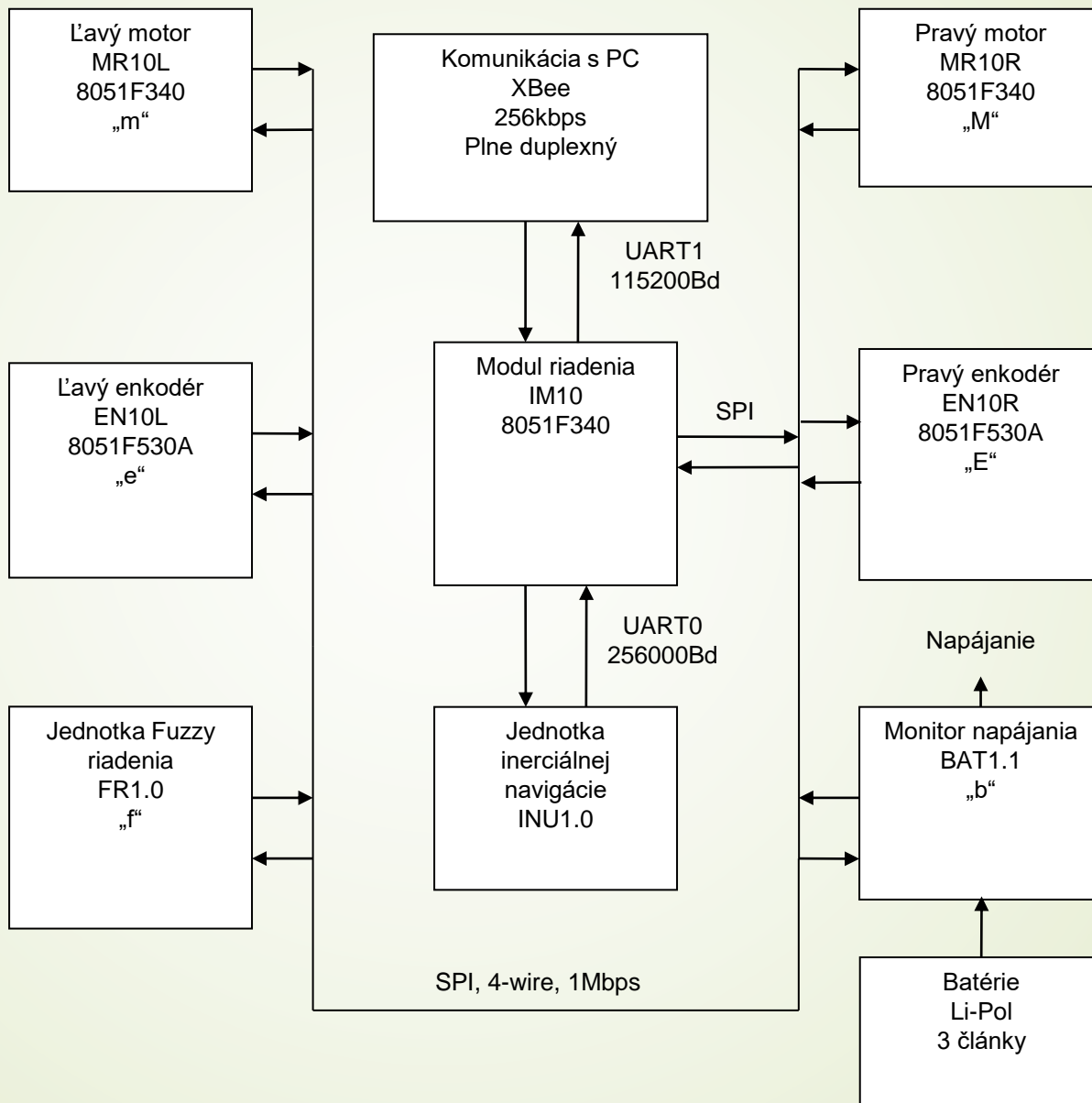
EN10



EN20



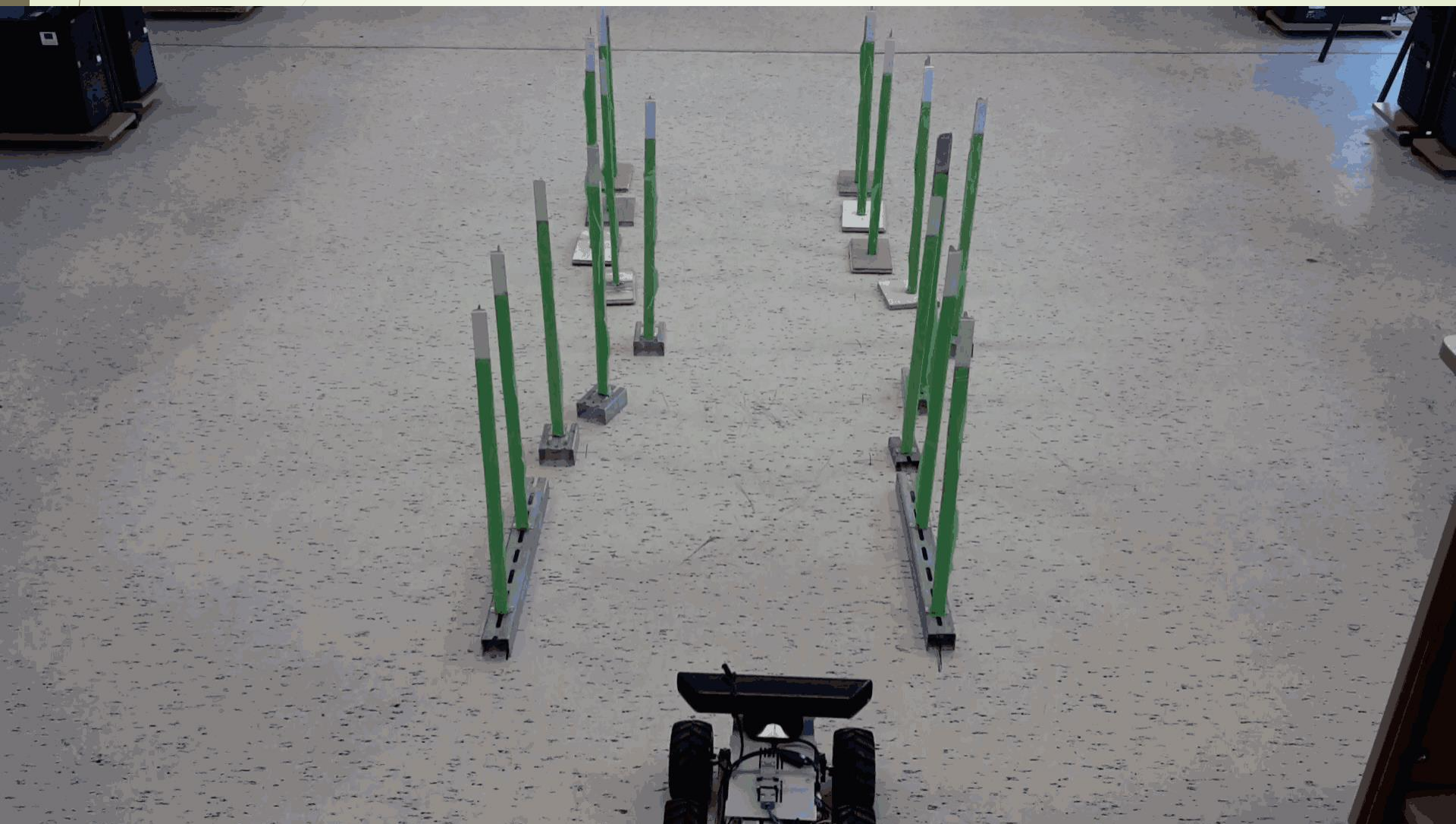
EN20



Robot NUC



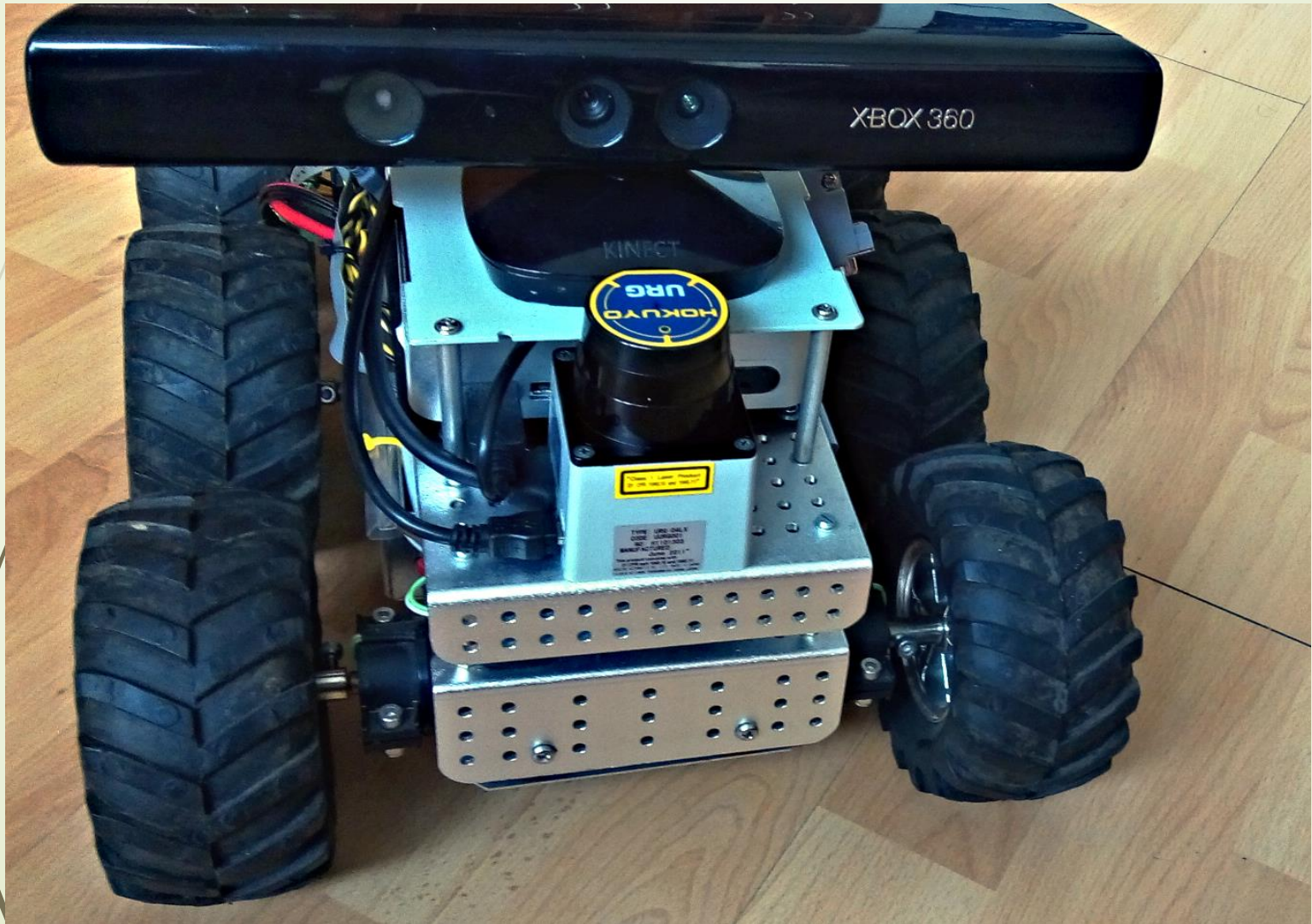
Robot NUC



Robot NUC



NUC

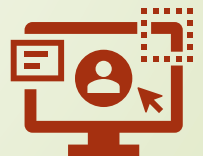


SaMoRob



Autonómny mobilný robot SaMoRob

- vyvinutý a vyrobený na TF v Nitre,
- určený reálnych podmienok,
- nevyžaduje úpravy parcely,
- riadenie založené na mikrokontroléroch, DSP a FPGA,
- aplikovaná fúzia viacerých navigačných systémov,
- neriadený systém.





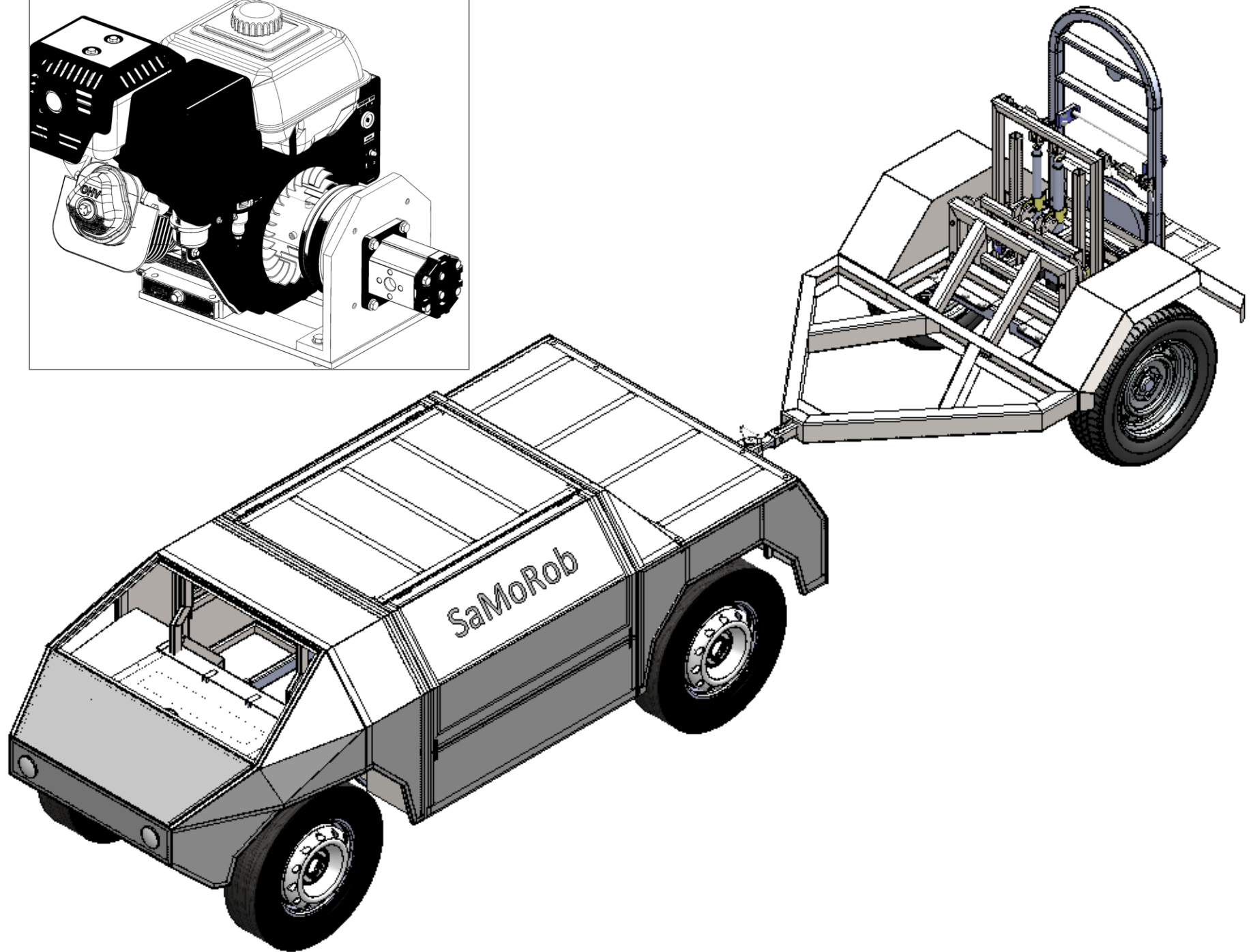
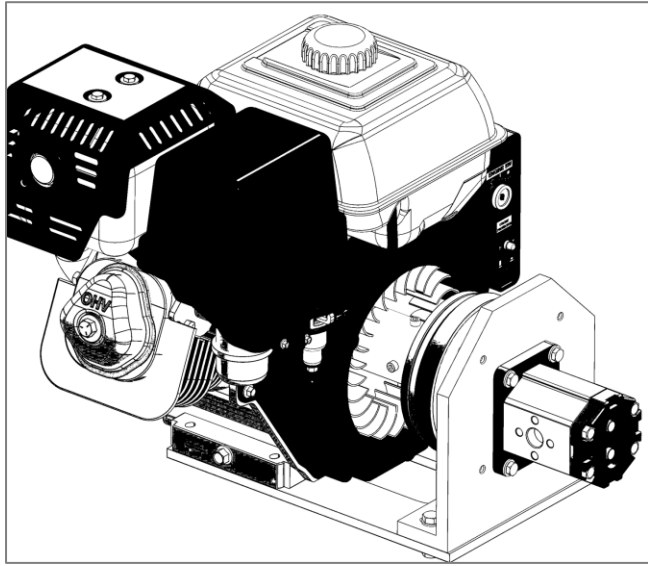
Energetická jednotka

- spaľovací motor,
- hydraulický pohon,
- kontinuálne riadenie rýchlosti,
- oddelený hydraulický okruh pre nadstavby,
- originálne riešený manažment napájania.

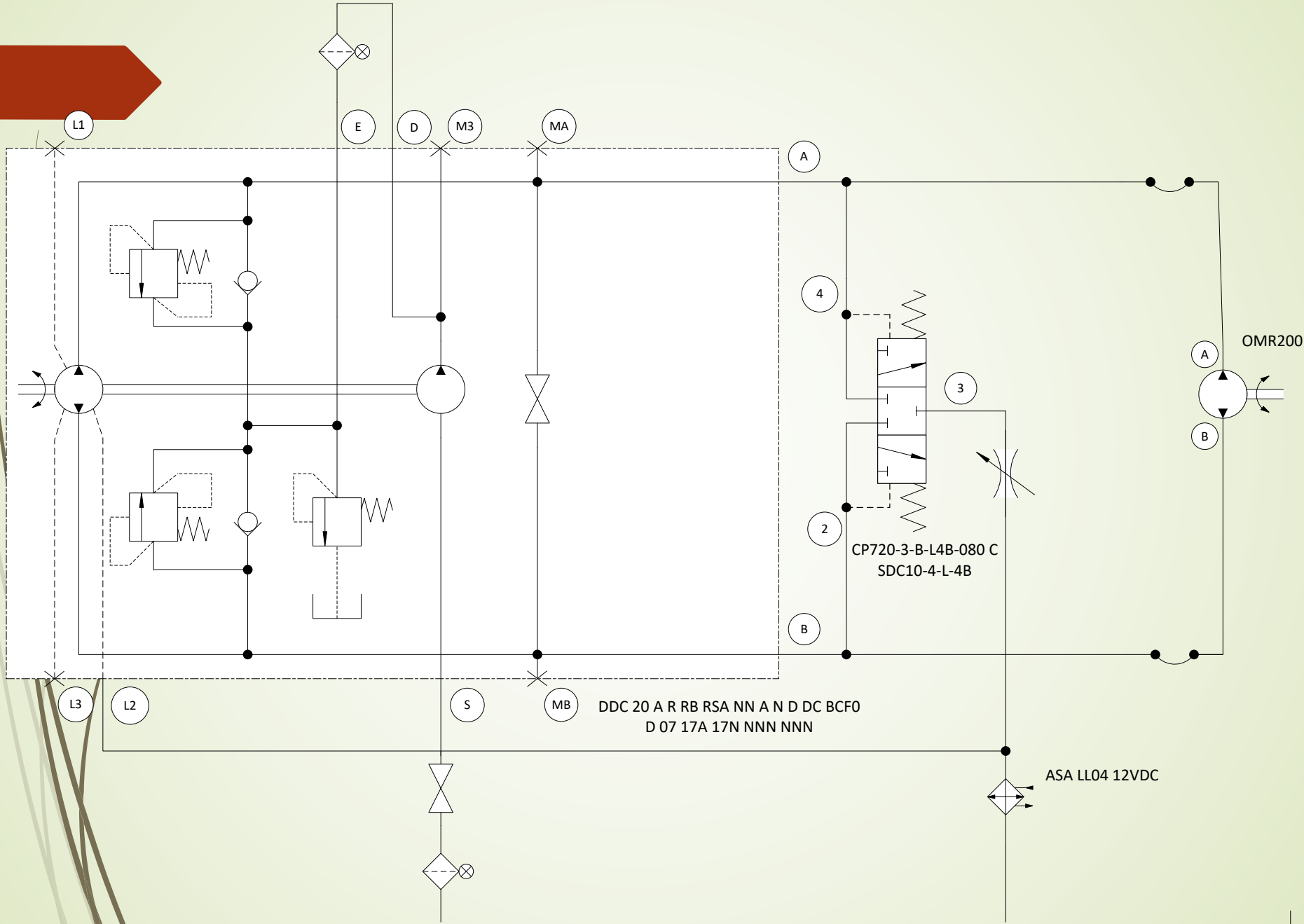


Technické parametre

- Energetická jednotka: benzínový spaľovací motor
- Typ pohonu: hydraulický pohon
- Maximálna pojazdová rýchlosť: 6 km/h
- Dostupnosť svahu: 30 % pri rýchlosti 3 km/h
- Pohon externých zariadení: samost. hydraulický okruh
- Maximálny výkon externých zariadení: 6 kW

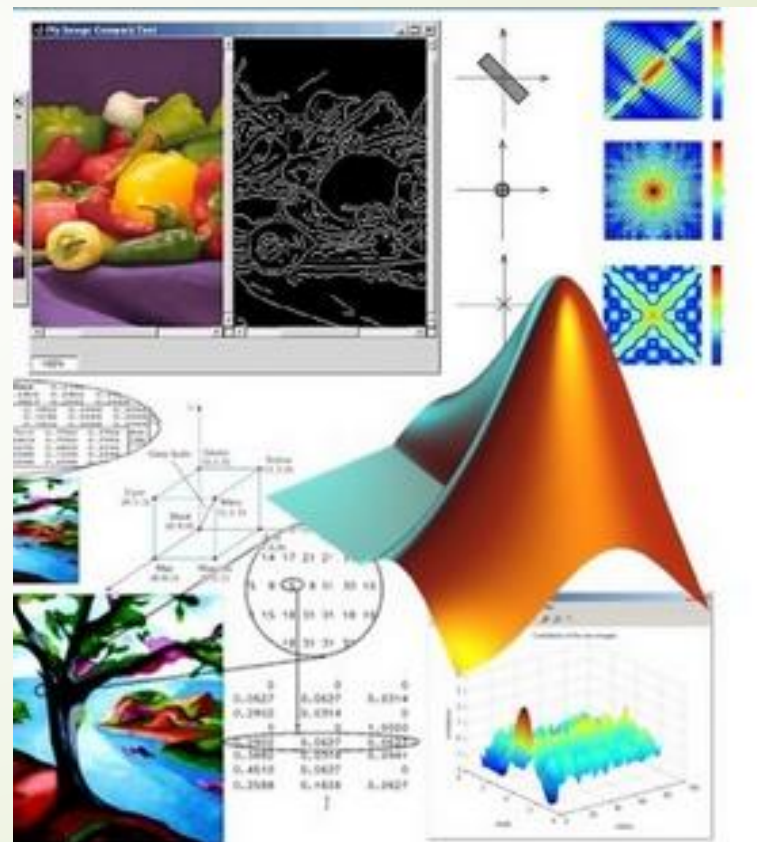


D042 3010 EN 01
DG041 6030 CZ



Riešené problémy

- detekcia preklzávania,
- fúzia navigačných techník,
- odometria v špeciálnych podmienkach,
- magnetický kompas,
- spracovanie obrazu,
 - rozlišovanie rastlín
 - rozlišovanie ľudí,
 - rozlišovanie zvierat,
 - určenie radu,
- autonómne čistenie trysiek,
- optimalizácia rosenia,
- detekcia prekážok,
- ostatné



Matematický model chýb akcelerometra

$$\text{Var}\left(\int\int\epsilon(\tau)d\tau d\tau\right) = \delta t^4 \sum_{i=1}^n (n-i+1)^2 \text{Var}(N_i) = \frac{\delta t^4 n(n+1)(2n+1)}{6} \text{Var}(N)$$

$$\tilde{a}_x = (1 + S_x)a_x + M_y a_y + M_z a_z + B_f + B_v a_x a_y + n_x$$

- numerické integrovanie Runge-Kutta 4. rádu,
- metóda najmenších štvorcov,
- metóda simulovanej identifikácie.

Výsledky kalibrácie akcelerometra

$$S_A = \begin{pmatrix} 1,0043482 & 0 & 0 \\ 0 & 1,007572 & 0 \\ 0 & 0 & 1,0010261 \end{pmatrix}$$

$$B_A = \begin{pmatrix} 0,0048514 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2458078 & 0 \\ 0 & 0 & 0,027534 \end{pmatrix}$$

Matematický model chýb gyroskopu

$$\tilde{\omega}_x = (1 + S_x)\omega_x + M_y\omega_y + M_z\omega_z + B_f + B_{gx}a_x + B_{gz}a_z + B_{axz}a_ya_z + n_x$$

- riešenie nezahŕňa všetky parametre,
- použitie AMO EN20,
- posuny kompenzované na základe analýzy 10^6 vzoriek,
- zdĺhavá identifikácia modelu s realitou.

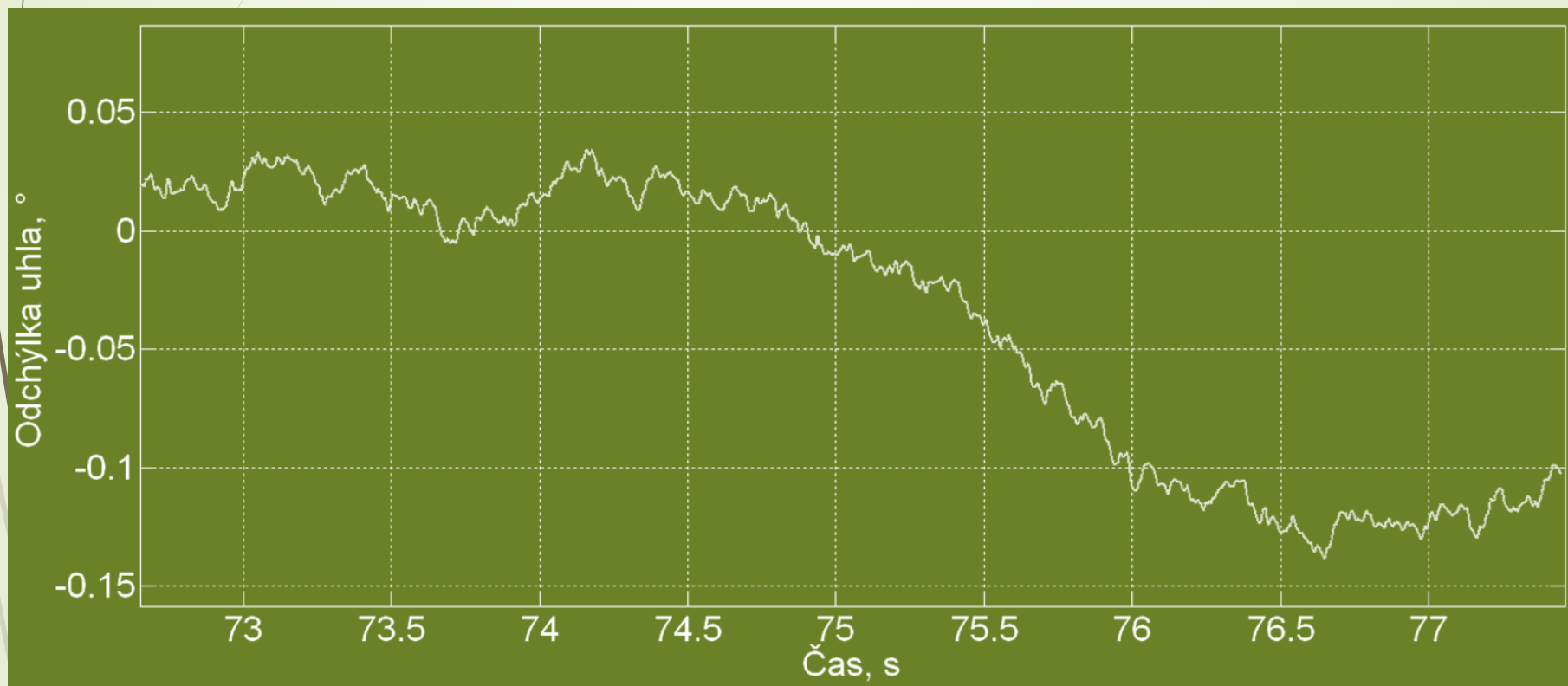
Výsledky kalibrácie gyroskopov

$$\begin{bmatrix} \omega_{x1} \\ \omega_{y1} \\ \omega_{z1} \end{bmatrix} = [\omega_G]_{3 \times 3} \begin{bmatrix} 1/s_x & 0 & 0 \\ 0 & 1/s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1/s_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x - x_0 \\ \omega_y - y_0 \\ \omega_z - z_0 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \omega R_{11} & \omega R_{12} & \omega R_{13} \\ \omega R_{21} & \omega R_{22} & \omega R_{23} \\ \omega R_{31} & \omega R_{32} & \omega R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x - \omega R_{10} \\ \omega_y - \omega R_{20} \\ \omega_z - \omega R_{30} \end{bmatrix}$$

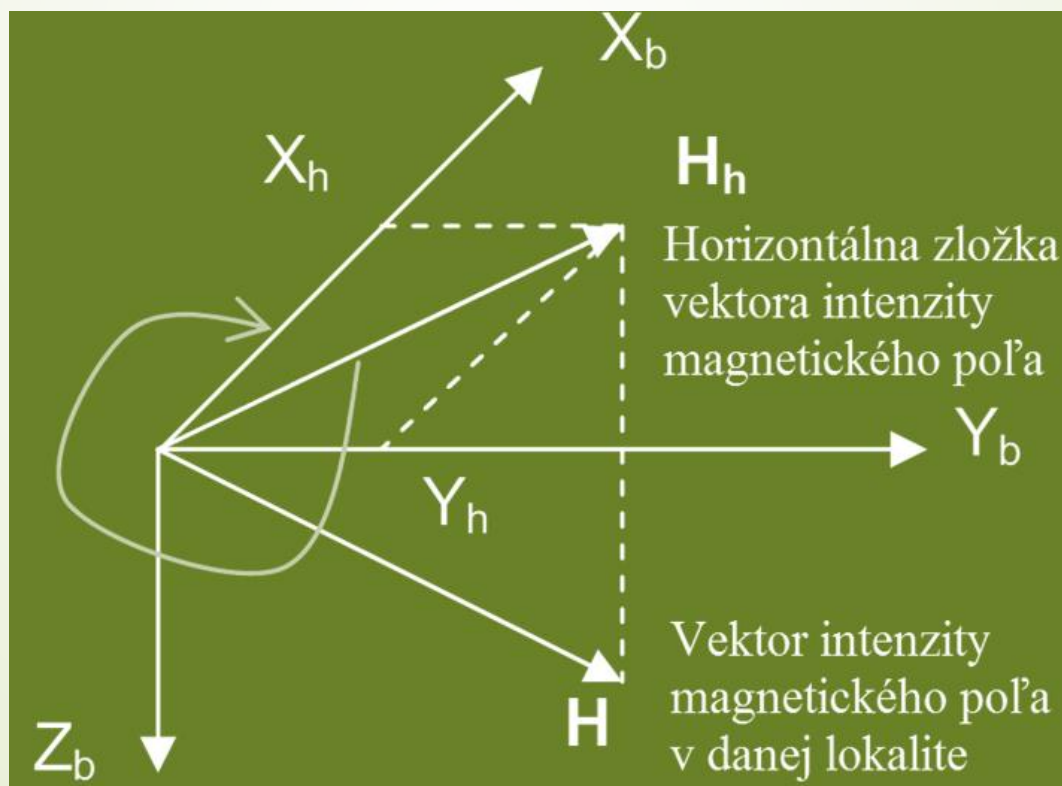
$$\begin{bmatrix} \omega_{x1} \\ \omega_{y1} \\ \omega_{z1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,930 & 0 & -0,005 \\ 0,002 & 1,096 & 0,004 \\ -0,003 & 0 & 1,0509 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_x - 0,000 \\ \omega_y - 0,400 \\ \omega_z + 0,044 \end{bmatrix}$$

Odchýlka uhla po kalibrácii



Elektronický kompas

- anizotropné magnetorezistívne snímače,
- rozlíšenie 50 nT,
- výpočet smerového uhla z horizontálnej zložky B,





Kalibrácia snímača magnetickej indukcie

- pomenovanie a kvantifikovanie vplyvujúcich činiteľov,
- tzv. „hard-iron“ interferencia,
- tzv. „soft-iron“ interferencia,
- faktor zisku,
- odchýlky uhlov osadenia snímačov.

Kalibrační rovnice

$$\begin{bmatrix} B_{x1} \\ B_{y1} \\ B_{z1} \end{bmatrix} = [M_m]_{3 \times 3} \begin{bmatrix} 1/s_x & 0 & 0 \\ 0 & 1/s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1/s_z \end{bmatrix} \cdot [M_si]_{3 \times 3} \begin{bmatrix} B_x - x_0 \\ B_y - y_0 \\ B_z - z_0 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} MR_{11} & MR_{12} & MR_{13} \\ MR_{21} & MR_{22} & MR_{23} \\ MR_{31} & MR_{32} & MR_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x - MR_{10} \\ B_y - MR_{20} \\ B_z - MR_{30} \end{bmatrix}$$

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} + \frac{(z - z_0)^2}{c^2} + \frac{(x - x_0)(y - y_0)}{d^2} + \frac{(x - x_0)(z - z_0)}{e^2} + \frac{(y - y_0)(z - z_0)}{f^2} = R^2$$

Výsledná rovnica pre korekčné faktory

- metóda najmenších štvorcov,
- vlastné algoritmy,
- rozlíšenie 0,0001 %,
- 26 hodín.

$$\begin{bmatrix} 1,0420 & 0,0001 & 0,0002 \\ 0,0005 & 1,0210 & 0,0013 \\ 0,0008 & 0,0001 & 0,9426 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_x - 3,325 \\ B_y - 2,800 \\ B_z - 4,675 \end{bmatrix}$$

Kompenzácia náklonu

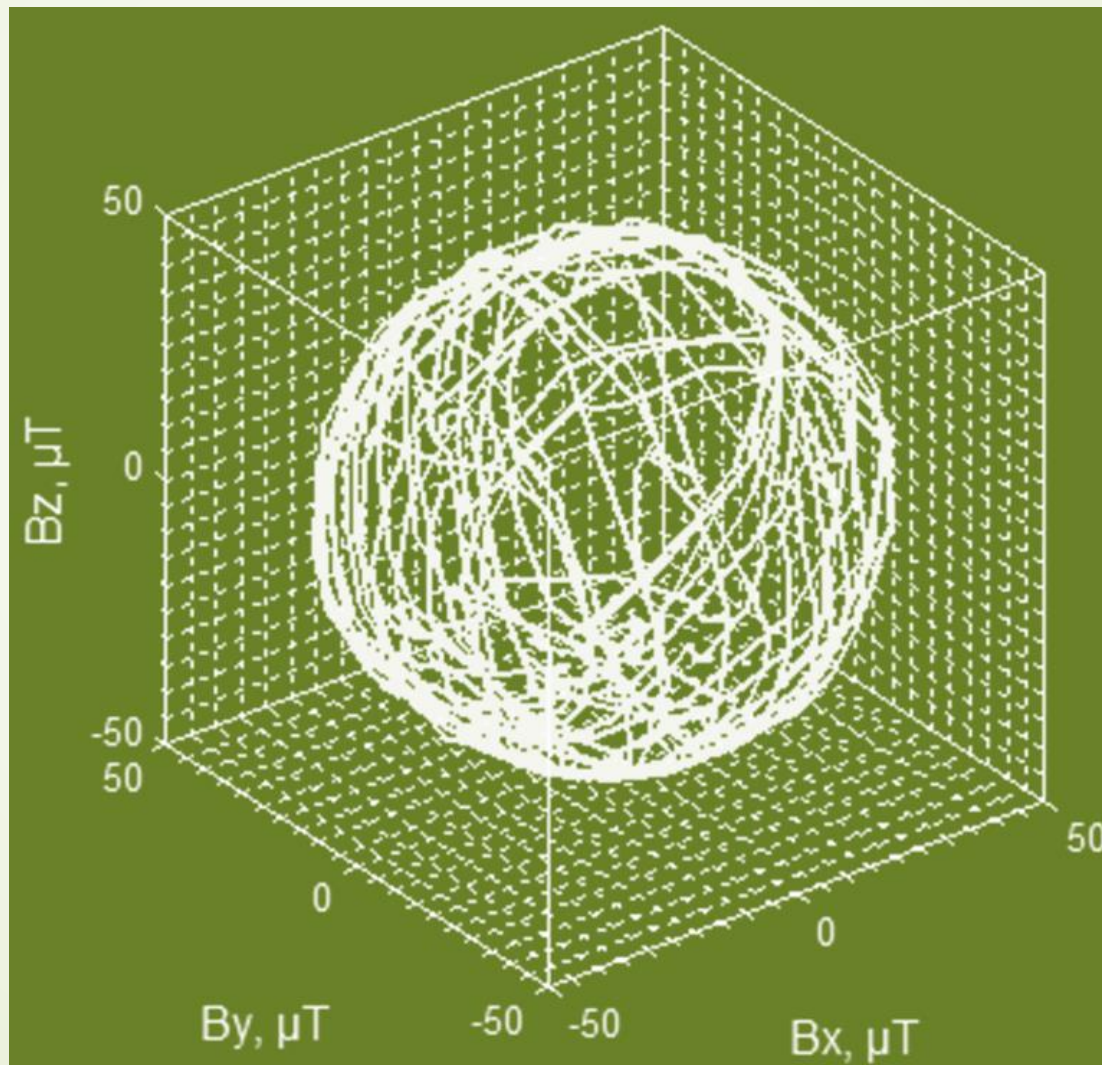
$$\begin{bmatrix} B_{xh} \\ B_{yh} \\ B_{zh} \end{bmatrix} = R_{\beta}^{-1} R_{\gamma}^{-1} \begin{bmatrix} B''_{xM} \\ B''_{yM} \\ B''_{zM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ \sin \beta \sin \gamma & \cos \beta & -\sin \beta \cos \gamma \\ -\cos \beta \sin \gamma & \sin \beta & \cos \beta \cos \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B''_{xM} \\ B''_{yM} \\ B''_{zM} \end{bmatrix}$$

$$R_{\beta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

$$R_{\gamma} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

- výpočet uhla náklonu,
- transformácia vektora nameranej magnetickej indukcie,

Priebeh kompenzovaného snímača



Kompenzácia náklonu stroja

- satelitná navigácia nerieši tento problém,
- inklinácia môže spôsobiť chybu do 27 cm,
- rozmer riadka je od 7,5 cm,
- riešenie pomocou INU.



Figure 2: GPS cannot determine orientation, so slopes could result in errors when determining the equipment's actual ground position. (Image source: Richard A Quinnell)

Testovanie algoritmov spracovania obrazu

- overované v štandardnom vozidle




Autonómny mobilný robot SaMoRob

zvyšuje
bezpečnosť
obsluhy pri rosení

zníženie potreby
chémie

kladný
ekonomický
dopad

kladný dopad
na životné
prostredie



Aktuálny vývoj a vízia do budúcnosti

Dnes:

- Autonómny rosič do ovocných sádov a vinohradov

V budúcnosti:

- autonómny penetrometer
- odoberanie pôdnych vzoriek
- aplikácia vodíkového pohonu



Výskumný, vývojový a výrobný kolektív

- doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.
- doc. Ing. Martin Olejár, PhD.
- Ing. Ladislav Tóth, PhD
- Ing. Lukáš Vacho, PhD.
- Ing. Patrik Kósa, PhD.
- Ing. Juraj Rác
- Ing. Marián Kišev
- doc. Ing. Ondrej Lukáč, PhD.
- prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD.
- Ing. Dušan Marko



Ďakujem za
pozornosť