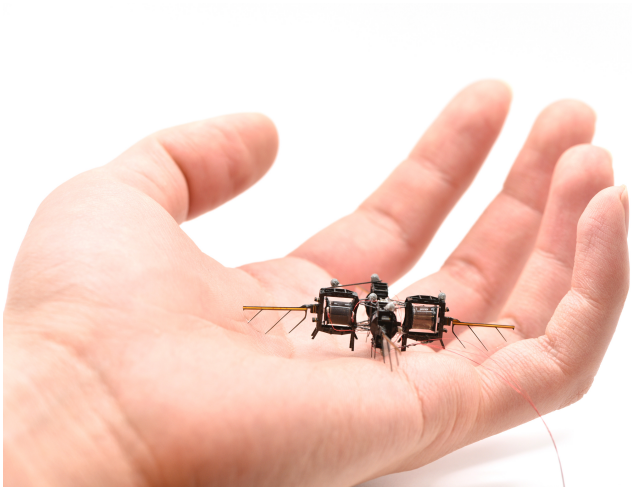
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA
KYBERNETIKY

Mikrorobotika



Obrázek 1: Mikrorobot napodobující hmyzí let z laboratoře MIT [1]

Západočeská Univerzita V Plzni
Katedra Kybernetiky
Semestrální práce - HKUI

Petr Sluka
17. prosince 2025

1 Úvod

Mikrorobotika je podobor robotiky zabývající se roboty malých velikostí. V této práci bych vám rád představil roboty o velikosti srovnatelné s hmyzem, přibližně 1–5 cm, a s hmotností v řádu jednotek miligramů až desítek gramů. Roboti těchto velikostí mají řadu výhod a mohou se těšit i praktickému uplatnění, často ale naráží na problémy a bariéry, které u větších robotů výzkumníci vůbec nemusí řešit, například dominantní vliv povrchového napětí vody. Právě tyto specifické podmínky malého měřítka jsou v posledních letech předmětem intenzivního výzkumu mikrorobotů inspirovaných hmyzem. Například laboratoře Massachusetts Institute of Technology (MIT) vytvořily létající roboty o velikosti včel, roboty schopné skákat na vodní hladině, nebo mikroroboty poháněné spalovacími motory o velikosti jedné koruny [2] [3].

2 Vliv měřítka na konstrukci robotů

2.1 Povrchové napětí vody

Jedna z laboratoří MIT vyvinula například miniaturní robotickou ponorku schopnou pohybu pod vodou. Ta využívá pár křídel, který kmitá přibližně devětkrát za sekundu a slouží jako zdroj vodní lokomoce. Stejný pár křídel je však schopen zajistit i let ve vzduchu, v tomto případě je však nutné, aby kmitala s frekvencí přibližně 250 Hz. Díky jedné mechanické části se tak robot dokáže pohybovat jak ve vodním, tak i ve vzdušném prostředí, což by bylo pro roboty větší velikosti mnohem složitější.

Problém nastává ve chvíli, kdy se robot pokusí vynořit nad vodní hladinu. Vzhledem k jeho velmi nízké hmotnosti, přibližně 175 mg, představuje povrchové napětí vody sílu, kterou robot není schopen překonat konvenčními metodami. Z toho důvodu je ponorka vybavena zařízením na rozklad vody na vodík a kyslík, tyto plyny jsou dočasně uchovány ve vztlakové komoře. Vztlaková komora zajistí, že se křehká křídla ponorky vynoří nad vodní hladinu. Ani to však samo o sobě nestačí k tomu, aby se plně vysvobodila z vodního sloupce. K tomu je využita jiskra uvnitř komory, která směs plynů zapálí, a vzniklá exploze robota vymrští 30 centimetrů do vzduchu, kde je schopný stabilního letu [3].

Další roboti dokážou povrchové napětí využít ke svému prospěchu. Jeden

z nich, vizuálně připomínající vodoměrku, používá pružinový mechanismus podobný noze blechy, aby se mohl odrazit a skákat na vodní hladině. Další je schopný se pohybovat po vodní hladině díky velkým hydrofobním měděným ploškám. Když se chce ponořit, přivede na měděné plošky napětí, a vzniklý kladný náboj přitáhne vodní molekuly, což překoná hydrofobní bariéru, která robota držela na hladině [3].

2.2 Létání v hmyzím měřítku

Přimět roboty o velikosti včel létat je velmi obtížné. Vnitřní mechanismy musí být velmi malé a vytvořené s přesností řádově na desetinu šířky lidského vlasu, což výrazně komplikuje výrobu. Dalším problémem je vysoký poměr povrchu k objemu, zvyšující intenzitu odporu vzduchu, který působí na létající roboty. Tyto limitace neumožňují létajícím robotům, podobně jako hmyzu, létat stylem ptáků, kteří jsou schopni udržet stabilitu v intenzivních poryvech větru. Hmyz, robotický nebo přírodní, je proto nucen spotřebovávat mnohem víc energie máváním křídel několikrát za sekundu [3].

Z důvodu malých rozměrů není možné využít standardních elektrických motorů pro pohon křídel. První verze proto používaly piezoelektrické krystaly, které reagují na napětí nepatrným smrštěním své velikosti. Tento malý pohyb byl poté mechanicky zesílen a spojen s křídly. Při zapínání a vypínání napětí 120krát za sekundu byla tak robo-včela schopná letu. Piezoelektrické krystaly mají ale výraznou nevýhodu způsobenou jejich křehkostí, kdy i malé nárazy mohou způsobit prasknutí krystalu, což znemožní let celého robota [3].

Novější robo-včely z MIT používají umělé svaly z měkkých polymerů. Polymer je z obou stran obalen uhlíkovými nanotrubicemi, které tvoří dvě oddělené vodivé plochy. Při přivedení opačných nábojů se plochy přitahují, což sval roztáhne. Pokud jsou však přivedené náboje stejné, plochy se odpuzují a sval se smršťí. Skutečný pohon křídel je poté zajištěn několika vrstvami těchto "svalů" a změnou náboje v rámci stovek cyklů za sekundu. Tento flexibilní sval zvládne pohltit nárazy a přežije třeba i poškrábání povrchu. Skutečný problém ale nastane, pokud je sval propíchnut a vodivé plochy se dotknou. V takovém případě se náboje vyrovnají a sval přestane fungovat. I tento problém se však dá řešit, například přivedením vysokého napětí, které odpaří dotýkající se části a opět tak oddělí vodivé plochy [3].

2.3 Zdroje energie

Většina MIT mikrorobotů není schopná autonomního provozu, především kvůli omezené možnosti ukládat energii. Baterie jsou v malém měřítku velmi nevýhodné a vědci se momentálně více soustředí na technické stránky pohybu než na finální produkt s vlastním zdrojem energie. Většina robotů je tak napájena externě. Slibnou alternativou je však použití miniaturních spalovacích motorů, které si při zmenšování lépe udržují účinnost, výhodou je také výrazně vyšší energetická hustota chemických paliv. Jeden z takových mini-motorů vyvíjených na MIT používá nepřetržitý přívod metanu a kyslíku vedených do spalovací komory. Tam je směs zapálena a expandující horké plyny tlačí na flexibilní membránu, která funguje jako píst. Díky své přirozené elasticitě se membrána vrátí zpět, což vypudí výfukové plyny ven z komory. Kvůli vysokému poměru povrchu k objemu v malém měřítku dochází k rychlým tepelným ztrátám. Proto je možné palivo do spalovací komory přivádět nepřetržitě: spaliny rychle ztratí teplo a plamen se nešíří do přívodní trubice [3].

3 Závěr

Mikrorobotika představuje rychle se rozvíjející oblast robotiky, ve které hraje zásadní roli samotné měřítko konstrukce. Roboti o velikosti srovnatelné s hmyzem čelí fyzikálním omezením, která se u větších robotů prakticky nevyskytují a výzkum mikrorobotiky se proto často inspiruje přírodními systémy.

Reference

[1] A. Zewe, “Fast, agile robotic insect could someday aid mechanical pollination,” MIT News, Jan. 2025, image courtesy of the Soft and Micro Robotics Laboratory, MIT. [Online]. Available: https://news.mit.edu/2025/fast-agile-robotic-insect-could-someday-aid-mechanical-pollination-0115

[2] S. Kim, Y. Hsiao, Z. Ren, J. Huang, Y. Chen *et al.*, “Acrobatics at the insect scale: A durable, precise, and agile micro–aerial robot,” *Science Robotics*, vol. 10, no. 98, 2025. [Online]. Available: https://www.science.org/doi/10.1126/scirobotics.adp4256

[3] Veritasium, “Why is mit making robot insects?” YouTube video, 2025. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=H6q6pYZ9Fho