



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**BEZDRÁTOVÝ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM ENOCEAN
V AUTOMATIZACI BUDOV**

THE WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM ENOCEAN IN BUILDING AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Múčka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

BRNO 2017

ZADÁNÍ VŠKP 1

(tento list nahradíte oficiálním zadáním práce)

ABSTRAKT

Úlohou bakalářské práce rešeršního charakteru je vytvořit přehledný popis technologie EnOcean a provést její zhodnocení. Spínače a senzory založené na technologii „energy harvesting“ využívají k vlastnímu napájení přírodní energie získané z okolního prostředí, například působením síly na spínače, senzory z teplotního spádu nebo ze světelné energie.

ABSTRACT

The task of the bachelor thesis with research character is to create a clear description of the EnOcean technology and to evaluate it. Switches and sensors based on „energy harvesting“ use natural energy from the surrounding environment, for example by force action to switches, sensors from temperature gradient or light energy.

KLÍČOVÁ SLOVA

EnOcean, energy harvesting, inteligentní dům, automatizace budov, sběrnice, rádiový protokol, sériový protokol, generické profily, paket, telegram, subtelegram

KEYWORDS

EnOcean, Energy harvesting, Smart house, Building automation, bus, radio protocol, serial protocol, Generic Profiles, packet, telegram, subtelegram

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÚČKA, J. *Bezdrátový komunikační systém EnOcean v automatizaci budov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat mojí rodině za podporu při psaní této bakalářské práce a také vedoucímu Ing. Tomášovi Maradovi, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem. Zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Marady, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Jan Můčka

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	AUTOMATIZACE BUDOV	17
2.1	Klasická elektroinstalace	18
2.2	Systémová elektroinstalace.....	19
2.2.1	Sběrnice	19
2.2.2	Protokoly	20
2.3	Srovnání využití systémové a klasické elektroinstalace.....	20
3	ENOCEAN	23
3.1	Co je jedinečného na technologii EnOcean?	23
3.2	Kompatibilní systémy	24
3.2.1	KNX.....	24
3.2.2	BACnet	25
3.2.3	LON	25
4	ENERGY HARVESTING	27
4.1	Zdroje energie, které EnOcean využívá	27
4.1.1	Energie z pohybu	28
4.1.2	Energie ze světla	29
4.1.3	Energie z rozdílu teplot.....	30
4.2	Platforma EnOcean.....	30
4.3	Rádiové protokoly, které EnOcean využívá	31
4.4	Optimalizace norem pro konkrétní aplikace.....	31
4.5	Dosah bezdrátových signálů napájených pomocí energy harvesting	31
4.6	Datová integrita a bezpečnost.....	33
5	ENOCEAN RADIO PROTOCOL	35
5.1	Popis datových jednotek	35
5.2	Repeater (opakovač)	36
6	ENOCEAN SERIAL PROTOCOL 3.....	37
6.1	Struktura paketů.....	38
6.2	Dopředná kompatibilita	39
6.3	UART	39
6.3.1	UART synchronizace	40
7	GENERIC PROFILES.....	41
7.1	Definice slova „generic“	41
7.2	Konvence	41
7.3	Komunikační vrstvy	42
7.4	Metoda (Approach).....	42
7.5	Charakterizace kanálu.....	43
7.6	Teach-in Process (proces učení)	44
7.7	Postup procesu Teach-in.....	44
7.8	Kompatibilita s EEP	45
7.9	Koexistence EEP a GP	45
7.10	Vzdálené řízení	45
8	DISKUZE A ZHODNOCENÍ.....	47
8.1	Tvorba řešerše.....	47

8.2	Zhodnocení a můj názor.....	47
9	ZÁVĚR.....	49
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
11	SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK	53
11.1	Seznam zkratek	53
11.2	Seznam obrázků	54
11.3	Seznam tabulek	54

1 ÚVOD

V dnešní době je společnost čím dál více obkloповána moderními technologiemi, které se především týkají našich osobních věcí, bez nichž si život už ani nedokážeme představit. Máme stále větší nároky na životní standard, inovace proto přicházejí z oblastí, které nám jej také mohou zajistit. Tyto přístroje možná vůbec nevnímáme, avšak jsme jimi každodenně obklopeni. Dnes se v již mnoha veřejných prostorech o náš komfort starají často velmi sofistikované systémy.

Rozmáhá se výstavba moderních budov využívající takové systémy, které se automaticky starají o provoz budovy, řídí ji a monitorují její stav. S automatizací budov se můžeme setkat v průmyslových budovách, kancelářích, nemocnicích, úřadech, školách, obchodech, ale také v rodinných domech. Musí se sice počítat s vyššími počátečními náklady, ale jde pouze o investici do budoucna, která může být kdykoli dodatečně rozšířena a zdokonalována.

Systémy automatizace budov se v začátcích vyvíjely výhradně v průmyslových závodech jako „průmyslová automatizace“, od kterých byly přejaty a rozšířeny do ostatních odvětví. Formace norem komunikačních systémů v běžných budovách se začala ve světě vyvíjet až v druhé polovině osmdesátých let. V Evropě vznikl v roce 1990 technický výbor automatizace budov, který ustanovoval používané sběrnice dle zavedených standardů. [1]

Pojmy jako „automatizace budov“, či „inteligentní budovy“ mě zajímají, částečně také protože jsem vystudoval Střední školu průmyslovou, obor Stavebnictví. V této práci se věnuji systému bezdrátové komunikace EnOcean, který se poslední dobou začal hojně používat i v České republice.

Cílem bakalářské práce je vytvořit přehledný popis technologie EnOcean a provést zhodnocení získaných poznatků. Je zde vypracovaný uspořádaný souhrn informací a vysvětlení, co se skrývá za technologií EnOcean a jak funguje. Dozvíte se, proč je jedinečná a kam až dosahují její možnosti. Technologie EnOcean od společnosti EnOcean je v oblasti automatizace budov již ustálený pojem a řadí se mezi přední světové výrobce automatizovaných systémů. V závěru je ke každé kapitole uvedeno zhodnocení a vlastní názor autora práce.

Důležitým tématem práce je patent společnosti týkající se technologie „energy harvesting“, což se dá přeložit nebo vysvětlit jako získávání malého množství energie z přebytečných a nevyužitých zdrojů, jako je sluneční, tepelná nebo mechanická energie. Ta se pak dále používá pro napájení modulů bezdrátové komunikace, například senzorů, přijímačů nebo spínačů. Výsledkem těchto vlastností je možná celková absence výměnných baterií či používání kabelového vedení jak pro napájení zařízení, tak pro přenos datových informací. Tímto se tato technologie výrazně liší od ostatních výrobců a nabízí široké pole uplatnění.

V práci je dále popsán rozbor a funkcionality „EnOcean Radio Protocol“ rádiového protokolu (ERP) a „EnOcean Serial Protocol 3“, tedy sériového protokolu

(ESP3) a poměrně velkou část práce tvoří kapitola generické profily, anglicky Generic Profiles.

Pojem Generic Profiles je možné ve zkratce vysvětlit takto: Každé nové zařízení, které chce výrobce vydat, musí obsahovat svoje specifické profily konfigurací a vlastního nastavení. Tyto profily odpovídají technologii, kterou budou zařízení využívat. Takže aby byly produkty kompatibilní s konkrétními výrobci, musí si u odpovídajících společností svoje profily nechat přeložit. I EnOcean má svoje profily s názvem EnOcean Equipment Profiles, nicméně od roku 2010 společnost EnOcean vyvíjí projekt Generic Profiles za účelem vytvořit programátorský jazyk, který by zařízení umožnil samostatnou automatickou tvorbu profilů a odstranil tak nutnost tyto specifické profily předem komplikovaně chystat.

2 AUTOMATIZACE BUDOV

Nejprve je nutné porozumět tomu, co je automatizace budov, proč se používá a z čeho se skládá její základní systém. Odvětví automatizace budov se zabývá jejich řízením, provozem a ochranou na základě probíhajících procesů, situací a stavů. Cílem je veškerou aktivitu monitorovat a snadno ji ovládat. Běžné budovy, ve kterých se často pohybujeme, jsou vybaveny zařízeními, jako jsou například:

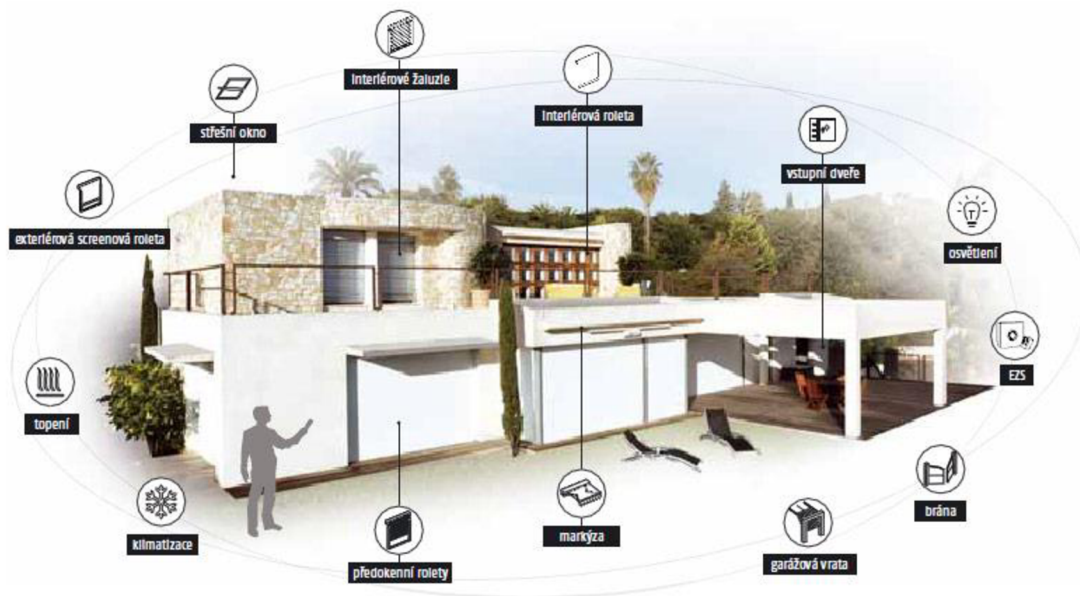
- Osvětlení
- Rolety
- Žaluzie
- Klimatizace
- Vytápění
- Ventilace
- Bezpečnostní kamery
- Alarm

Tato zařízení jsou zahrnuta do společného systému řízení. Výhodou je, že činnosti ohledně správy budovy mohou probíhat samostatně bez zásahu člověka nebo že je můžeme například vzdáleně ovládat. Pomáhá nám to šetřit energii, čas i samotná zařízení, která často nesprávným nebo nárazovým použitím silně opotřebujeme. V inteligentních budovách využívajících automatizaci se vyskytují celé řady senzorů a snímačů. Ty vysílají data, která se centralizují v řídicích jednotkách nebo rovnou směřují k odpovídajícím zařízením. Tyto rozvody zajišťují takzvané sběrnice. Optimalizované automatizované systémy jsou z hlediska energetiky velmi výhodné a zaručují co nejvyšší účinnost. [2]

Pro realizaci automatizace budovy se dá zvolit ze dvou základních skupin elektroinstalace. Závisí to však i na typu zařízení a přístrojů, které se budou pomocí elektroinstalací využívat. [3]

Dělení:

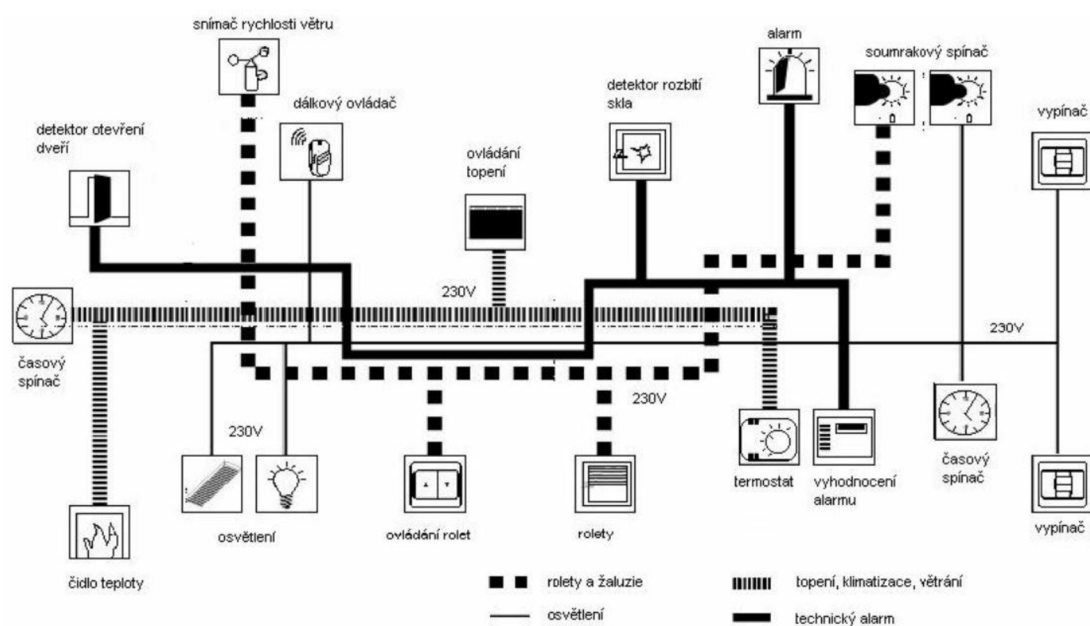
- Klasické elektroinstalace
- Systémové elektroinstalace [3]



Obr. 1: Příklad automatizovaného inteligentního domu [4]

2.1 Klasická elektroinstalace

Klasická neboli konvenční elektroinstalace se skládá z pevných a neměnných zapojení samostatných obvodů v budově. Neposílají se datové informace, pouze se spíná konkrétní spotřebič v obvodu. Například obvod pro ovládání topení, žaluzií, rolet, zapínání světel atd. Dráty vedoucí proud jsou zazděné v drážkách ve zdech a celá elektroinstalace je po dokončení stavby neměnná. Používají se zásuvky, spínače, termostaty, jističe, chrániče, svorky, kabely apod. Konvenční instalace je založená na tom, že ovládací prvek přímo přivede příkon ke spotřebiči. [3]

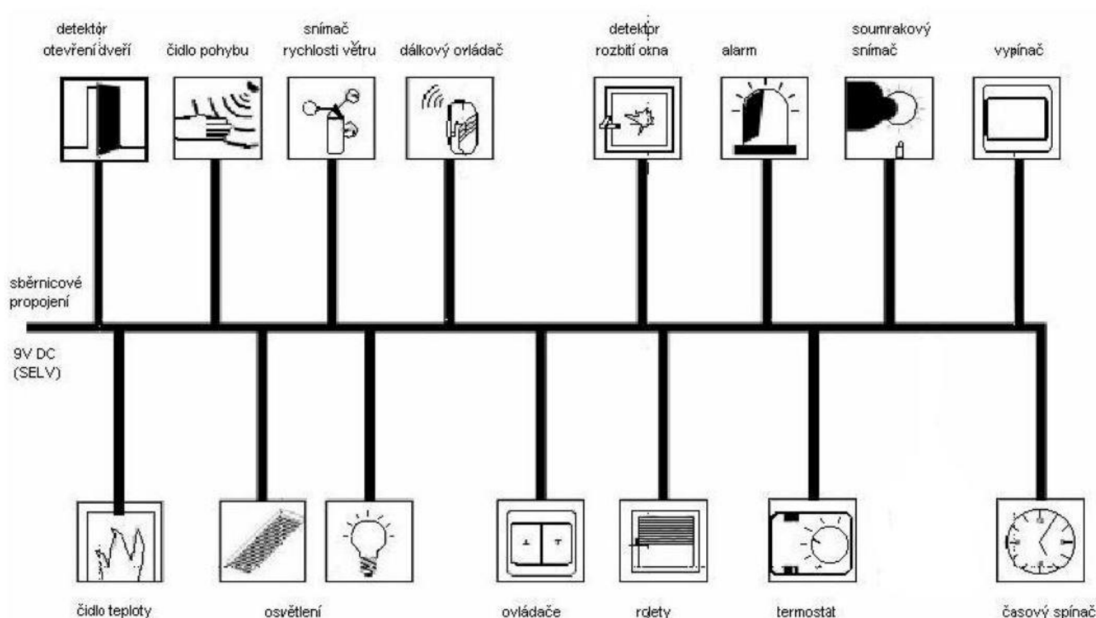


Obr. 2: Princip propojení zařízení u klasické domovní elektroinstalace [3]

2.2 Systémová elektroinstalace

Systémová elektroinstalace je základem pro celý obor automatizace budov. Jak bylo již definováno v úvodu této kapitoly, smyslem je veškerá data ve sběrnících rozvádět logicky k odpovídajícím zařízením. Návodem k tomu, jak spolu mají jednotlivé prvky v obvodu komunikovat, slouží systémový protokol. Ve sběrníčovém systému se pomocí ovládacího prvku pouze posílají povely, kdy se má zapnout a vypnout spotřebič, tento systém totiž na rozdíl od konvenčního nezajišťuje přímé napájení spotřebiče elektrickou energií. Podle druhu aplikovaného systému lze systémovou elektroinstalaci rozdělit na:

- Centralizované systémy
- Hybridní systémy (částečně decentralizované)
- Decentralizované systémy [3]



Obr. 3: Princip propojení zařízení u sběrníkového systému elektroinstalace [3]

2.2.1 Sběrnice

„Sběrnice je sada fyzických připojení (kabelů, plošných spojů atd.), které mohou být sdíleny větším množstvím hardwarových komponentů, aby mohly komunikovat s druhými.“ [5] Tyto komunikační jednotky fungují jako výhybky, které rozřazují shromážděná data a procházejí jimi pokyny k automatizovaným prvkům instalovaným v budově. „Používají se k přenosu dat, adres, řídicích a stavových signálů.“ [6] Sběrnice se snaží minimalizovat počet datových cest tak, aby bylo využito co nejméně drátů na co nejvíce připojených zařízení. Množství informací, které je sběrnice schopna předat najednou, je určujícím parametrem pro hodnocení výkonosti. Tato vlastnost se nazývá šířka sběrnice a je vyjádřena v bitech (např. 1, 8, 16, 32, 64,... bitová). Bity odpovídají počtu připojených fyzických tratí, kterými jsou data současně a paralelně odesílána.

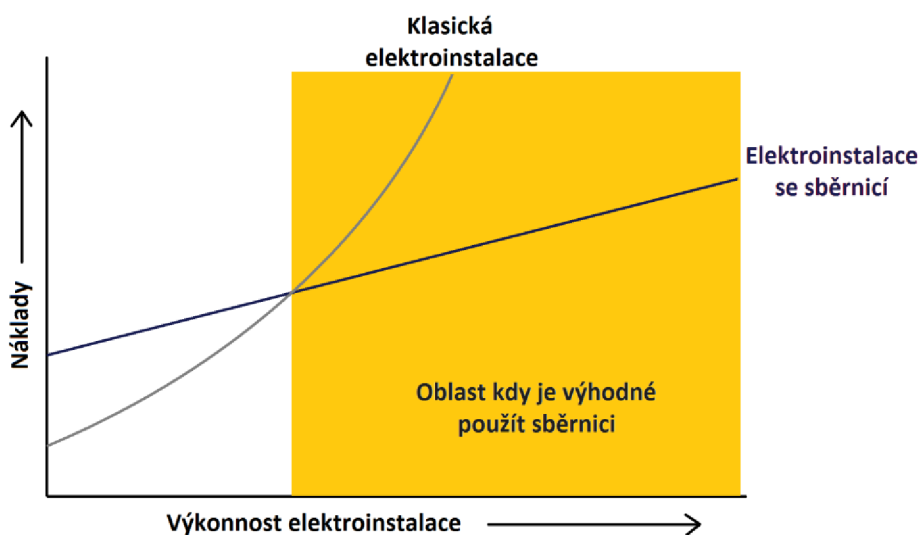
Existují i tzv. sériové sběrnice, ty mají šířku pouze jeden bit. Dalším kritériem sběrnice je rychlost definována frekvencí v jednotkách Hertz (Hz). Vyjadřuje to počet paketů, které jsou přijaty nebo odeslány za jednu sekundu. Provedení této operace se nazývá cyklus. [5, 6]

2.2.2 Protokoly

Jedná se o soubor pravidel softwarového i hardwarového charakteru, kterým se řídí datový přenos a elektronická komunikace mezi zařízeními. Protokol vyjadřuje syntaxi komunikace, pravidla vztahů a chování v různých situacích. „Protokoly specifikují, jak navázat spojení, jak opravovat poškozená data a co dělat s takovými daty, jak začít a ukončit zprávy, jak formátovat zprávy a mnoho dalších vlastností pro realizaci komunikace.“ [7]

2.3 Srovnání využití systémové a klasické elektroinstalace

Menším budovám samozřejmě může postačit pouze obyčejná elektroinstalace, často je to z hlediska finanční nákladnosti úspornější. Nicméně se zvyšujícími se nároky na modernizované budovy využívající velké množství inteligentních komponentů se klasická elektroinstalace stává silně komplikovanou a často i nemožnou variantou řešení těchto systémů. V dnešní době přibývá nových rodinných domů a vil využívajících automatizaci a běžné je i to, že se do starších budov využívajících klasickou elektroinstalaci sběrnice systémy implementují. Rozdíl závislosti klasické a systémové elektroinstalace na nákladech je zřejmý na tomto grafu: [3]



Obr. 4: Závislost nákladů na výkonnosti elektroinstalace [2]

Klasická elektroinstalace, krom toho že je nejjednodušším a nejlevnějším řešením pro malé domy, disponuje spíše nevýhodami:

- Poměrně nákladné změny v projektu spojené s velkými zásahy do budovy.
- Provedení u větších budov s sebou nese velkou náročnost a nepřehlednost řešení
- Můžou nastat konflikty při propojení cizích systémů [3]

Zatímco sběrníkový systém disponuje mnohými klady. Samozřejmě pro menší domy je ale příliš drahou variantou a také nepotřebnou. [3]

Jeho výhody:

- Je možné všechny provozně technické funkce v budově ovládat přehledně a centrálně
- Spoří energii a čas, má delší životnost
- Při využití bezpečnostního systému zvyšuje úroveň zabezpečení celé budovy
- Zajišťuje vysoký komfort a jednoduchost ovládání přístrojů v budovách [3]

Faktem je, že oba typy elektroinstalace využívají pro přenos signálu dráty. Existují však i bezdrátové systémy a tím je právě technologie EnOcean, která nejenom že je bezdrátová, ale také energeticky soběstačná. Zbytek bakalářské práce se věnuje právě technologii EnOcean.

3 ENOCEAN

EnOcean je držitelem patentu bezdrátové technologie využívající energy harvesting. Energy harvesting se dá volně přeložit jako získávání energie nebo doslova sklizení energie z přebytečných a nevyužitých zdrojů, jako je sluneční, tepelná nebo mechanická energie. Tomuto tématu je dále věnována celá jedna kapitola.



Obr. 5: Logo společnost EnOcean [8]

Sídlo společnosti se nachází v Oberhachingu nedaleko německého Mnichova. EnOcean vyrábí a prodává bezdrátové moduly využívající energy harvesting pro inteligentní budovy, pro aplikace v domácnostech, v průmyslových závodech nebo v jiných oblastech, jako je internet věcí či takzvané „zelené domy“. Technologie EnOcean kombinuje miniaturizované konvertory energie s elektronikou napájenou velmi nízkým proudem k provozování rádiové komunikace. Více než deset let je EnOcean předním výrobcem bezdrátových modulů pro realizaci složitých systémů. Energeticky soběstačná technologie EnOcean byla již nasazena v několika stovkách tisíc budov po celém světě. [9]

EnOcean je zakladatelem mezinárodního konsorcia EnOcean Alliance, kde téměř 400 společností na celém světě vyvíjí a rozšiřuje jednotlivá řešení problémů založená na bezdrátovém standardu EnOcean energy harvesting pro pásmo 1 GHz. Hlavním společným cílem organizace je co nejefektivněji využívat inteligentní řízení a automatizaci ke zlepšení bezpečnosti, pohodlí a uhlíkové stopy budovy, tedy k celkovému ekologickému stavu. Díky tomu, že se aliance snaží u jednotlivých zařízení definovat standardizované aplikační profily (EnOcean Equipment Profiles), je zajištěna interoperabilita. To znamená, že produkty od různých členů aliance mohou v systému vzájemně spolupracovat bez nastání potenciálních konfliktů. Je nutné konstatovat, že tato organizace poskytuje svým členům výhodné partnerství a řadí se tak mezi nejrychleji rostoucí technické aliance na světě. [9]

3.1 Co je jedinečného na technologii EnOcean?

Technologie EnOcean má tyto výhody:

- bezdrátový systém automatizace
- není zapotřebí jediné baterie a jejich pravidelná výměna – je tedy ekologická

- může fungovat desetiletí naprosto bez údržby
- neomezená flexibilita a s tím spojený komfort
- levný, finančně nenákladný a energicky efektivní systém
- lze modernizovat starší budovy
- pro jednoduché či komplexní aplikace
- široké použití pro byty, rodinné domy, kancelářské budovy, nemocnice, hotely a školy
- možnost umístění senzorů a spínačů téměř kdekoli a zvyšovat jejich počet, tím rozšiřovat komunikaci
- adaptabilní na novinky v oblasti nových technologií
- technologie je otevřená častým změnám a přestavbám bytu [10]

3.2 Kompatibilní systémy

K nejpoužívanějším systémům patří KNX/EIB, BACnet a LON, se kterými se systém EnOcean může jednoduše kombinovat. Dále pak se systémy DALI, GSM, Modbus, TCP/IP, USB, RS232, RS485. [11]

3.2.1 KNX

Sběrnice KNX je vlastně mezinárodní standard, jejímž základem byla zvolena sběrnice EIB (European Installation Bus). EIB normalizovaná sběrnice byla zavedena sdružením vedoucích firem zabývajících se elektroinstalacemi v Evropě. V čele společnosti Siemens se posléze vytvořil nový standard KNX, který má oproti EIB mnohem větší obsah funkcí. Všechna zařízení a výrobky pro sběrnici EIB jsou automaticky vyhovující standardu KNX. K přednostem KNX patří široké pole integrovaných systému pro větrání, vytápění, klimatizaci a mnoho dalších spotřebičů. Dosažením tak vysoké univerzality je tento standard vhodný jak pro automatizaci budov různých velikostí a účelů, tak pro využití v domácnostech. [12]



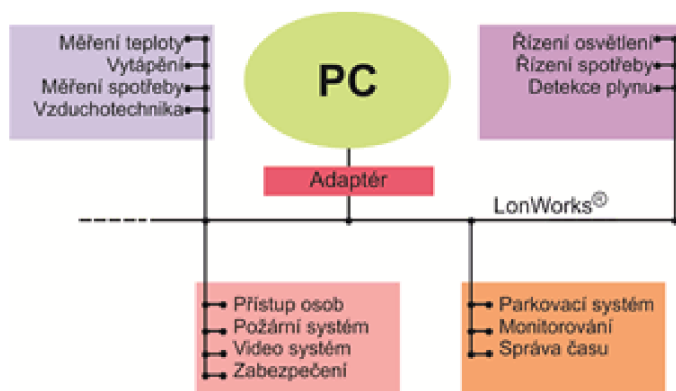
Obr. 6: Přehled využití systému KNX [13]

3.2.2 BACnet

Protokol s názvem BACnet je určený především pro automatizaci budov z operátorské úrovně. Podstata tohoto protokolu spočívá ve schopnosti formulovat univerzální popis různých funkcí jednotlivých zařízení. BACnet patří ke standardům automatizace budov a je celosvětovou normou. [12]

3.2.3 LON

Sběrnice LON (Local Operating Network) je decentralizovaný systém se sériovým přenosem dat. Společně s protokolem LonTalk tvoří techniku automatizace s názvem LonWorks. Disponuje univerzálností a nízkými náklady, typicky se používá pro domácnosti – převážně v Americe. Využívá se pro komunikaci na nejnižší úrovni automatizace a tam, kde je nárok kladen spíše na šířku sběrnice než na její přenosovou rychlost. [12]

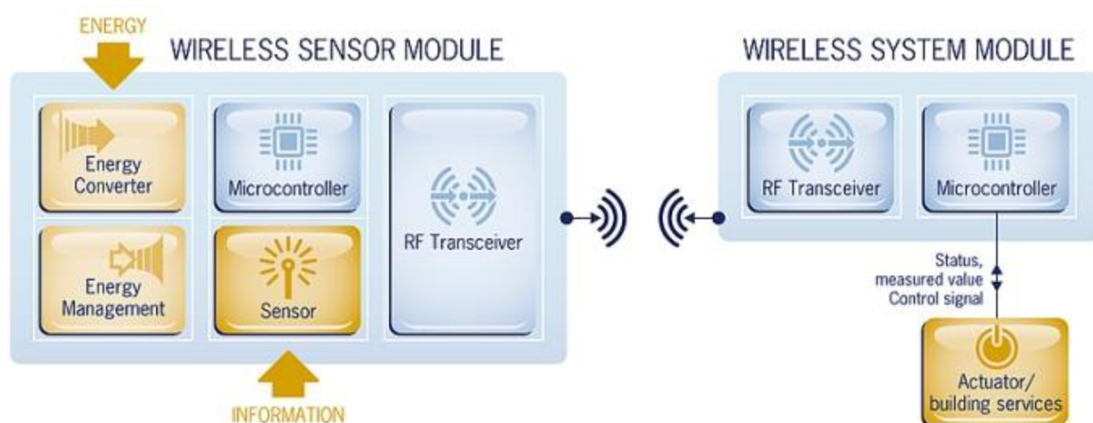


Obr. 7: Příklad systému LonWorks [12]

4 ENERGY HARVESTING

„Pojem energy harvesting se dá volně přeložit jako získávání energie, ovšem v praxi se používá anglický výraz“. [14] Nazýváme tak technologie získávání malého množství energie z okolních zdrojů, jako je sluneční záření, mechanická energie, teplotní spád, vibrace nebo proudění vzduchu. Tyto zdroje energie jsou obvykle nevyužité, a i když množství takto získané energie je poměrně malé, můžeme tím napájet zařízení s malým odběrem, například bezdrátové mobilní zařízení. Tento princip je základem získávání energie pro bezdrátovou technologii společnosti EnOcean. [9]

Energie je dostupná kdekoli, jen je třeba ji správným způsobem získat. Toto je myšlenka principu energy harvesting. EnOcean tento princip používá pro své bezdrátové moduly, které si získávají svoji energii z okolního prostředí. Drobné energetické měniče, výkonové senzory a spínače, kterým je díky tomu umožněno fungovat bez jakýchkoliv baterií nebo drátů, pracují samostatně a nepotřebují žádnou údržbu. Nutná výměna baterií znamená další výdaje, a to jak z hlediska hardwaru, tak i údržby. Revoluční technologie EnOcean s vlastním napájením pro uživatele znamená, že nikdy nebude muset nahrazovat vybité baterie. [9]



Obr. 8: Schéma bezdrátové komunikace bezbateriové technologie EnOcean [15]

4.1 Zdroje energie, které EnOcean využívá

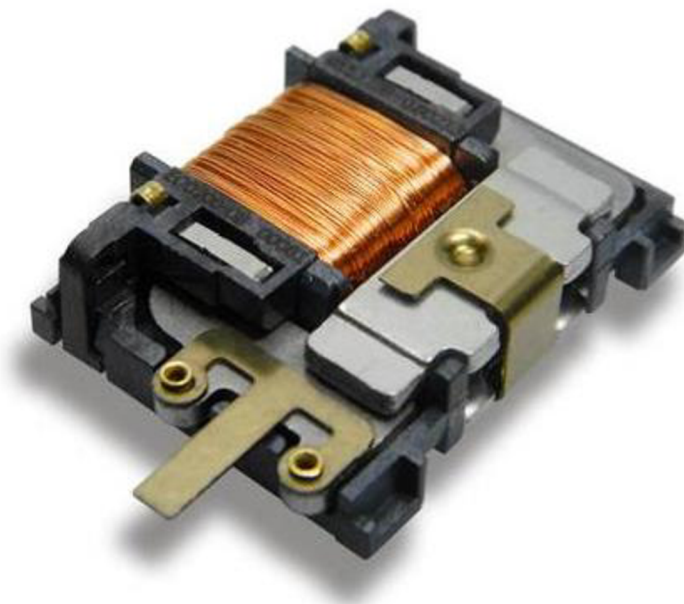
Existují tři hlavní zdroje energie, které technologie EnOcean používá: pohyb, světlo a rozdíl v teplotě. V tomto procesu využívá elektromagnetický konvertor mechanické energie nebo miniaturizovaný solární článek, který generuje energii ze světla dostupného v místnosti. Kombinace Peltierova článku se stejnosměrným měničem DC/DC konvertuje rozdíl teplot u kohoutků na energetický zdroj. Toto malé množství získané energie je dostatečné k přijímání a odesílání signálů u bezdrátových zařízení, které jsou pro tak nízké napětí koncipované, a umožňuje provoz řady sensorových systémů bez údržby.

To zahrnuje:

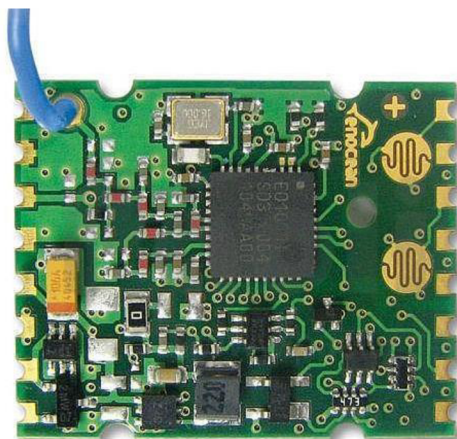
- Bezbateriové přepínače
- Inteligentní okenní držadla
- Teplotní senzory
- Vlhkostní senzory
- Světelné senzory
- Reléové snímače
- Snímače obsazenosti [9]

4.1.1 Energie z pohybu

Konvertor mechanické energie ECO 200 převádí mechanickou energii, například stisknutím vypínače, na energii elektrickou. Toto důmyslné zařízení funguje na podobném principu jako dynamo a vytváří tak okamžitě dostupnou energii. Pohybem se v integrované cívce vytvoří tok magnetického pole a aktivuje se pružinový mechanismus. Tím se v cívce indukuje elektrický proud. S výkonem $120 \mu\text{Ws}$ a odpovídajícím modulem bezdrátové a bezbateriové technologie je možné vysílat tři rádiové telegramy pro jednu operaci. ECO 200 umožňuje obvyklé dokončení více než 300 000 spínacích cyklů. Za předpokladu ideálních podmínek je možné dosáhnout až jednoho milionu cyklů. Konvertor ECO 200 se kombinuje s bezdrátovým modulem PTM 330/PTM 330c nebo PTM 332/PTM332c. [9], [16]



Obr. 9: Konvertor mechanické energie EnOcean ECO 200 [17]



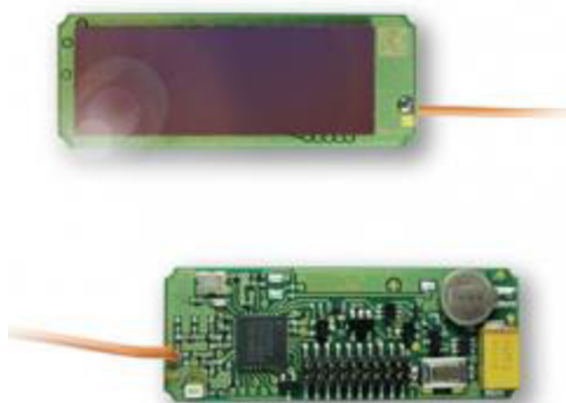
Obr. 10: Bezdrátový modul EnOcean PTM 332 [18]

4.1.2 Energie ze světla

Získávání solární energie je v dnešní době běžně využívané, a proto lze očekávat, že se právě tento typ nevyužití energie bude týkat i energy harvesting. Miniaturní solární články, které nejsou větší než 13 mm x 35 mm, mohou využívat dokonce jenom světlo uvnitř místnosti k dodávání elektřiny pro bezdrátové rádiové moduly s tak nízkým příkonem. Je-li například naměřená hodnota vysílána každých 15 minut, pak by k nepřerušovanému provozu mělo stačit pouze 3,6 hodiny nabíjení při 200 luxech. „Typická (nepřímá) denní intenzita osvětlení je 100 až 10 000 luxů, interiérové osvětlení v domácnosti se obvykle pohybuje kolem 100 až 500 luxů.“ [9, 19]



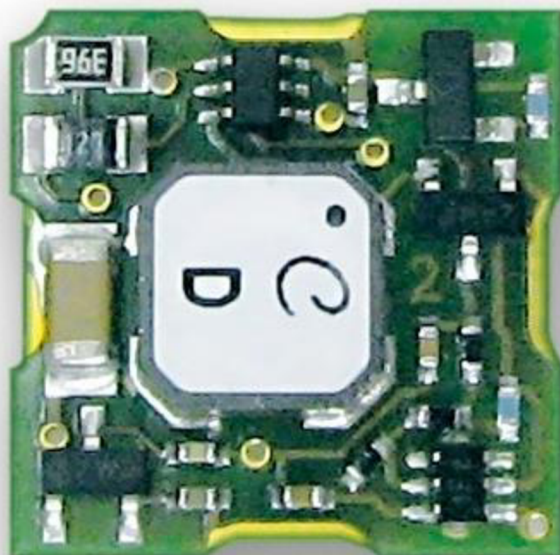
Obr. 11: Fotovoltaický článek EnOcean ECS 310 [20]



Obr. 12: Bezdrátový modul EnOcean STM 310 [21]

4.1.3 Energie z rozdílu teplot

Pro tento způsob získávání energie se používají tzv. Peltierovy články neboli termogenerátory. Měnič stejnosměrného proudu ECT 310 DC/DC začíná fungovat, přesáhne-li vstupní napětí 10 mV. Při 20 mV (což odpovídá teplotnímu rozdílu 2 °C) je generováno více jak 3 V užitečného výstupního napětí. Při teplotním rozdílu pouhých 7 °C je pak vyrobeno přibližně 100 μW energie. [9]



Obr. 13: EnOcean ECT 310 Perpetuum [22]

4.2 Platforma EnOcean

Není to pouze energy harvesting, díky kterému tato bezdrátová technologie funguje. EnOcean nabízí svým zákazníkům OEM: sortiment s kompletním systémem plug&play (technologie snadného rozpoznání a automatické konfigurace hardwaru). Energetické konvertory, řídicí jednotky, bezdrátové moduly, softwarové a vývojové nástroje šetřící energii a velmi spolehlivý rádiový protokol, kterému se dále podrobněji věnuje kapitola EnOcean Radio Protocol. [9]

Všechny komponenty jsou vzájemně přizpůsobené vhodné optimalizaci. V závislosti na požadavcích ohledně využití energie, EnOcean nabízí tento kompletní balíček s několika bezdrátovými a bezbateriovými aplikacemi. Společnosti se, jak popisují, podařilo při vytváření této platformy udržet co nejmenší případné integrační bariéry. To podstatně zjednodušuje instalační procesy a umožňuje je provádět bez potřeby hlubokých znalostí této bezbateriové technologie. [9]

4.3 Rádiové protokoly, které EnOcean využívá

EnOcean v současné době prosazuje mezinárodní normu ISO/IEC 14543-3-1X (známou také jako norma EnOcean), která je přímo optimalizována pro aplikace s napájením ultra nízkého napětí bezdrátového charakteru využívající energy harvesting. Důležitým bodem bylo úzké zapojení společnosti EnOcean do ratifikačních procesů v Mezinárodní elektrotechnické komisi (IEC). Tuto normu lze stáhnout na adrese www.iso.org. Mezitím různá sdružení začala postupně specifikovat sub-protokoly ultra nízkého napětí a jiných již existujících bezdrátových norem, např. pro pásmo ISM 2,4 GHz (IEEE 802. 15. 4). Tyto specifikace se inspiroují charakteristikami normy EnOcean a také umožňují realizaci těchto aplikací s ultra nízkým výkonem v konkrétních oblastech užití. Díky tomuto vývoji může bezdrátová technologie EnOcean využívající energy harvesting být běžně použita pro řízení rádiové komunikace v celosvětově otevřené normě IEEE 802. 15. 4.[9]

4.4 Optimalizace norem pro konkrétní aplikace

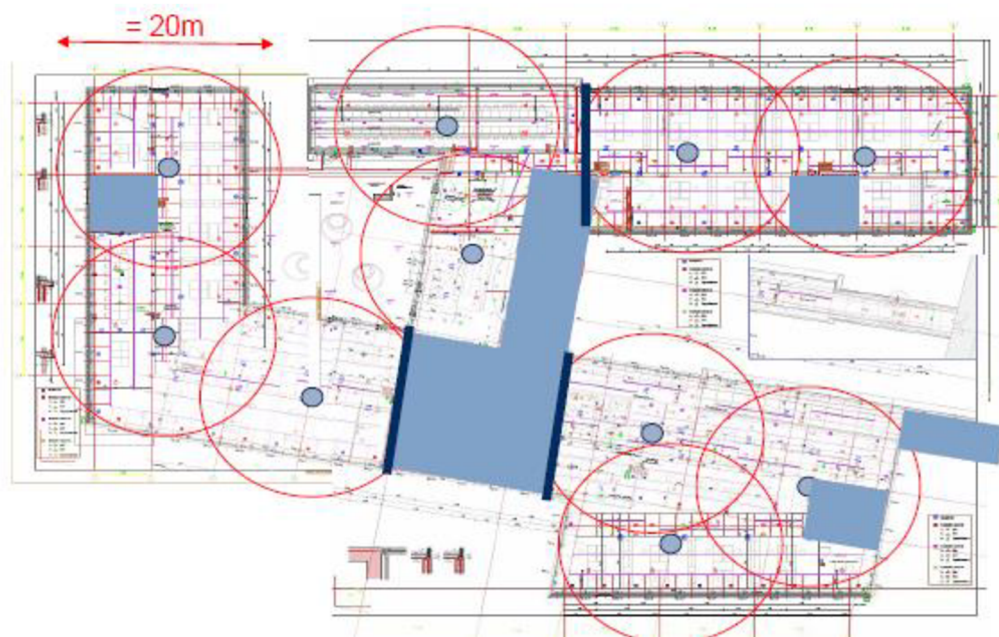
Společnost EnOcean doporučuje normu ISO/IEC 14543-3-1X pro spolehlivou a setrvale integrovanou automatizaci budov a pro řízení inteligentních vzájemně propojených budov vyžadujících vysokou dostupnost systému. Proto je tento rádiový protokol EnOcean speciálně navržen tak, aby podporoval ultra nízké napájené zařízení a energy harvesting pro aplikaci v budovách a domácích automatizacích. [9]

K dosažení optimální účinnosti rádiové frekvence využívá rádiový protokol nižší frekvenční pásma než 1 GHz. Spolehlivost rádiové frekvence je v podstatě zaručena, protože rádiové signály trvají méně než jednu milisekundu a jejich přenosová rychlost dat je 125 kilobitů za sekundu. Přestože je přenosový výkon až 10 mW, požadavky bezdrátových přenosů zde používají pro jeden telegram energii jen 50 μ Ws. Pro zajímavost by se tato energie dala přirovnat k potřebnému výkonu k vyzdvižení 1 gramu o 5 milimetrů. Zmiňovaný krátký telegram se v intervalu asi 40 milisekund pokaždé dvakrát náhodně opakuje, aby se zabránilo případným chybám, které mohou nastat při rádiovém přenosu. Aplikace pro energy harvesting používající normu IEEE 802. 15. 4 splňují mnohé specifické požadavky trhu, například řízené osvětlení LED pro spotřebitele nebo jiné řízené řešení, kde hlavní prioritou zákazníka není dostupnost připojení kanálu a úroveň údržby. [9]

4.5 Dosah bezdrátových signálů napájených pomocí energy harvesting

Zařízení pracující ve frekvenčním pásmu ISM pod 1 GHz jsou koncipována, aby zajistila minimální rušení, robustnost signálu při přenosu skrz stěny a rozsah komunikace v budovách do 30 metrů a ve volném prostoru až 300 metrů. Pro naplánování rozmístění přístrojů EnOcean vydal návod *EnOcean Range Planning Guide*, kde jsou podrobné

informace pro pásmo pod 1 GHz. Díky těmto rozsahovým vlastnostem je standard EnOcean opravdu vhodný pro integrované řízení budov. [9]



Obr. 14: Příklad plánování rozmístění přijímačů a vysílačů v budově [23]

S používáním pásma pod 1GHz se současně minimalizuje tzv. elektrosmog, protože rádiové spínače vysílají jen extrémně slabé elektromagnetické pole. Bezbateriové senzory jsou většinu času v režimu spánku a vysílají pouze bezdrátové telegramy, tzn. stavové aktualizace, naměřené hodnoty, řídicí příkazy. Tyto telegramy se vysílají v době, kdy jsou senzory aktivovány nebo v předem nadefinovaném cyklu, a to ve velmi krátkém čase. Podrobnější informace ohledně radiokomunikačního odpadu v normě EnOcean lze najít v knize od nezávislého institutu ECOLOG. [9]

Krátké aktivační cykly platí také pro aplikace v pásmu 2,4 GHz využívající energy harvesting. Bezdrátové signály jsou také odesílány jen v případě potřeby a také to v tomto vyšším pásmu snižuje elektrosmog. Co se týče rozsahu, tak má pásmo 2,4 GHz obvykle dosah asi 10 metrů v budově a 100 metrů ve volném prostoru. Proto je vhodnější pro aplikaci v jednopokojových místnostech, kde není tak vyžadována vysoká penetrace stěnami. [9]

Norma EnOcean ISO/IEC používá pod hranicí 1 GHz různá frekvenční pásma tak, aby splňovala právní předpisy jednotlivých zemí po celém světě, a to s licenci zdarma. Kromě zemí vypsanych v následující tabulce, existují ještě bezbateriová řešení s celosvětově otevřeným frekvenčním pásmem 2,4 GHz. [9]

Země	frekvence
Evropa a Čína	868 MHz
Asie	315 MHz
Severní Amerika a Kanada	902 MHz
Japonsko	928 MHz

Tab. 1: Tabulka zemí a odpovídajících frekvenčních pásem [9]

4.6 Datová integrita a bezpečnost

Moduly EnOcean vysílají datové pakety v náhodných intervalech, aby byla zajištěna minimální pravděpodobnost kolize a rušení signálu. Pozitivním výsledkem je, že lze spínače a senzory, které využívají frekvenční pásmo pod 1 GHz, provozovat i v těsné blízkosti vedle sebe. Kromě toho, každý standardní modul EnOcean je dodáván s unikátním 32bitovým identifikačním číslem (ID), které nelze změnit či zkopírovat. Chrání to tak proti duplicitě. Tato ověřovací metoda nabízí osvědčenou ochranu a spolehlivou komunikaci v oblasti automatizace budov. U aplikací, které vyžadují dodatečné zabezpečení dat, například v systémech inteligentních budov, EnOcean chrání bezbateriovou a bezdrátovou komunikaci v pásmu pod 1 GHz vylepšenými bezpečnostními opatřeními. Zabraňují falšovaným zprávám, opakovaným útokům nebo neoprávněným odposlechům. Tyto funkce zahrnují maximální 24bitové kódování „rolling code“ (RC), které se zvyšuje s každým telegramem a je šifrováno pomocí nejmodernější současně dostupné technologie AES – algoritmus s 128bitovým klíčem. [9]

5 ENOCEAN RADIO PROTOCOL

Aby mohl bezdrátový komunikační systém EnOcean fungovat správně, musí mít jasně daný soubor pravidel a funkcionalit. EnOcean využívá svůj rádiový protokol ERP pro komunikaci mezi jednotlivými moduly, přijímači, vysílači a opakovači. Následující tabulka shrnuje základní funkce rádiového protokolu EnOcean ERP (EnOcean Radio Protocol) v modelu OSI vrstev: [24]

Vrstva	Služby	Datové jednotky
Aplikace	EnOcean Equipment Profiles (EEP) RPC/RMCC zpracování	Data
Prezentace	Zpracování rádiového telegramu Šifrování	Data
Relace	Nepoužívá se	
Transport	Smart Ack Vzdálené řízení	Telegram/ Zpráva
Síť	Adresování telegramů (ADT zapouzdření/dekapulace) Přepínání konverze telegramu (volba/zpracování stavu) Opakování (zpracování stavu)	Telegram
Vrstva datového spojení	Struktura subtelegramu Výpočet kontrolní sumy Časování subtelegramů „Listen before talk“	Subtelegram
Fyzická	Kódování/dekódování (inverzní bity) Rádiové přijetí/přenos	Bity/rámeček

Tab. 2: Základní funkce rádiového protokolu v modelu OSI vrstev [24]

5.1 Popis datových jednotek

Komunikační protokol je založen na paketovém systému zapouzdřování dat. Datové jednotky mohou být trojího typu:

- Rámeček
- Subtelegram
- Telegram [24]

Rámeček je reprezentace zakódovaných dat na fyzické vrstvě. Obsahuje informace o řízení a synchronizaci určené pro přijímač. Rámeček je vysílán bit za bitem jako sériová sekvence. Subtelegram je výsledek dekódovacího procesu, ve kterém jsou tyto řídicí

informace (PRE, DOF, INV, EOF) a synchronizační informace z rámečku přesunuty. Opačným mechanismem k získání rámečku ze subtelegramů je proces kódování. [24]

Subtelegramy jsou zpracovány ve vrstvě datového spojení. Protokol ERP je navržen tak, aby pracoval převážně jako jednosměrný protokol bez vzájemného seznamování. Spolehlivost vysílání subtelegramů je zajištěna tím, že jsou v určitém časovém rozsahu vyslány tři identické subtelegramy. Každý vyslaný subtelegram je vlastně část jádra obsahující informace, které jsou obsažené ve složeném telegramu. [24]



Obr. 15: Datová struktura subtelegramu [24]

Univerzální pole jsou:

- RORG/CHOICE – identifikuje, o jaký typ subtelegramu jde
- DATA – samotná data vysílaného subtelegramu
- TXID/SourceID – identifikuje vysílače, z nichž každý má jedinečnou čtyřbajtovou identitu
- STATUS – určuje, zda je subtelegram vysílán z opakovače a identifikuje, jaký je použit typ mechanismu kontroly integrity. Toto pole se nevyskytuje u telegramu pro spínače.
- HASH/Checksum – hodnota kontroly integrity dat všech bajtů
- Informace o délce subtelegramu se v této struktuře neposílá. Délka je určena spočtením počtu bajtů od RORG po HASH. [24]

5.2 Repeater (opakovač)

Opakovač je nutné použít, je-li vzdálenost mezi odesílatelem a příjemcem příliš velká. Díky tomuto zařízení je možné vytvořit nebo spíš prodloužit odpovídající bezdrátové spojení. Pokud se jedná o větší vzdálenosti, je možné umístit i dva opakovače za sebou. Úkolem opakovače je přijímat telegramy od vysílače či jiného opakovače a odeslat je znovu tak, aby mohl adresovaný příjemce tuto zprávu obdržet. Důležité je, aby opakovač odeslal zprávu dřív, než se v příslušném telegramu znovu změní bajt v poli STATUS. Aby se omezil počet opakovaných telegramů v prostředí, rozlišujeme dvě úrovně opakovačů:

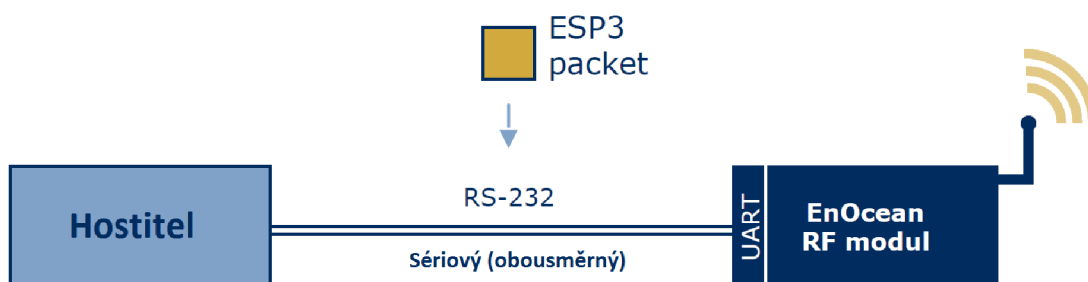
- Úroveň 1: Opakovače opakují pouze originální přijaté subtelegramy
- Úroveň 2: Opakovače opakují pouze originální přijaté nebo již jednou opakované subtelegramy [24]

Takže pokud opakovač druhé úrovně obdrží originální a zároveň již jednou opakovaný subtelegram pocházející ze stejného vysílače, bude zprávu opakovat pouze jednou. [24]

6 ENOCEAN SERIAL PROTOCOL 3

Žádný komunikační systém by se neobešel bez sériového protokolu. V této kapitole je podrobně rozebraný princip fungování protokolu, který je stvořený přímo na míru produktům od společnosti EnOcean. Důležitým krokem bylo vyvinutí nové verze sériového protokolu EnOcean Serial Protocol 3.0 tzv. ESP3. ESP3 se oproti ESP2 zlepšilo rozšířením obsahu dat a přidáním struktur, které dokážou odolávat nezastavitelnému vývoji a inovacím. [25]

ESP3 definuje sériovou komunikaci mezi hostitelem a moduly EnOcean. Hostitelem je externí mikrokontroler nebo zařízení, např. počítač s řídicími nástroji. Komunikaci mezi hostitelem a EnOcean přijímacími a vysílacími moduly zařizuje rozhraní UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), pomocí fyzicky propojeného třídrátového spojení dle modelu RS-232, tj. telekomunikační norma pro binární cílová data a řídicí signály. ESP3 používá pouze minimální třídrátové RS-232 připojení skládající se z přenesených dat, z přijatých dat a uzemnění. Kompletní možný rozsah funkcí RS-232 se nevyužívá. [25]



Obr. 16: Znárodnění sériové komunikace mezi hostitelem a modulem [25]

Nové funkcionální přednosti ESP3:

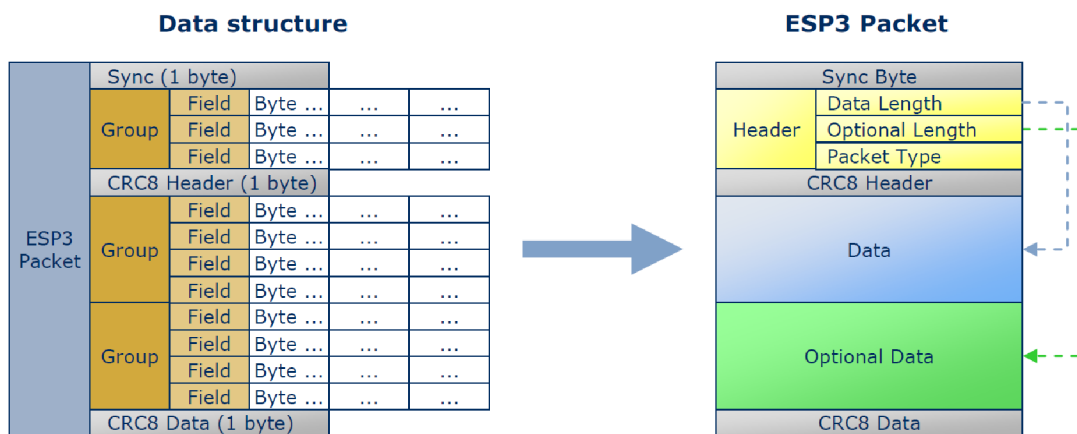
- Přenášející síla přijímacího signálu a množství přijatých subtelegramů.
- Budoucí požadavky se můžou realizovat s velkou flexibilitou a bez porušení vzájemné kompatibility pomocí paketové části „Optional Data“.
- Zvýšení zabezpečení a jednotnosti dat díky datové verifikaci CRC8.
- ESP3 má větší spolehlivost při detekci paketů na sériovém proudu bajtů.
- Má přibližně sedmkrát vyšší modulární rychlost (1 baud = 1bit/s).
- Standardní modulární rychlost je 57 600 baud. Avšak pokud zařízení podporuje i vyšší rychlost, je možné ji modifikovat, aby bylo využito její maximum, použitím příkazu SET_BAUDRATE. [25]

Porovnání protokolů:	ESP 2.0	ESP 3.0
Počet subtelegramů	✗	✓
Přijímání síly signálu (RSSI)	✗	✓
Zpětně kompatibilní s Optional Daty	✗	✓
Ověření dat	Checksum	CRC8
UART Synchronizace (packetová detekce)	2 bajty	6 bajtů
Maximální počet ESP packet typů	8	256
Typy dat	rádiové, příkazové	jakékoli
Maximální velikost přenesených dat	28 bajtů	65535 bajtů
Rychlost komunikace	9600 baud	57600 baud 115200 baud 230400 baud 460800 baud

Tab. 3: Tabulka porovnání protokolů ESP2 a ESP3 [25]

6.1 Struktura paketů

ESP3 je tzv. „Point-to-Point Protokol“ s paketovací strukturou dat. Principem je zapouzdření aktuálních uživatelských dat, příkazů, akcí nebo odpovědí do tzv. ESP3 paketů, které jsou přehledně strukturovány. [25]



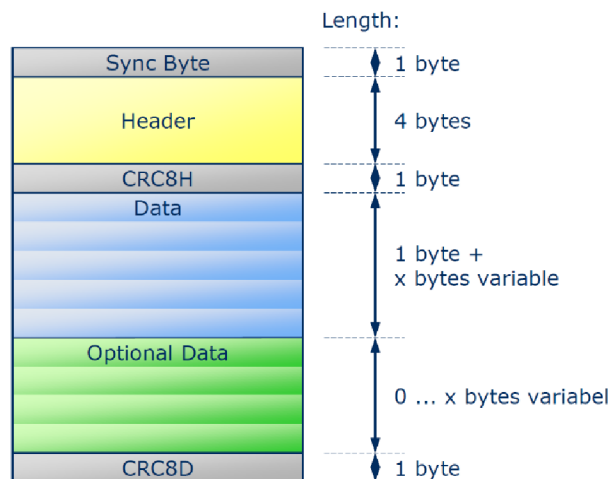
Obr. 17: Struktura paketu [25]

Každý ESP3 paket obsahuje hlavičku a data společně s Optional daty. Kostra paketu je rozdělena na tři části: Sync Bajt (start), CRC8 pro hlavičku a CRC8 pro data včetně Optional dat. Uvnitř každé skupiny se nachází pole, které obsahuje 1 až X bajtů. ESP3 Hlavička se skládá z polí:

- Data Length (počet bajtů ve skupině Data)
- Optional Length (počet bajtů ve skupině Optional Data)
- Typ paketu (rádiový signál, odezva, akce, příkaz) [25]

6.2 Dopředná kompatibilita

ESP3 protokol je založen na specifické struktuře Sync Bajt, hlavičky a CRC8, která by se neměla v budoucích verzích měnit. Aplikace používané dnes musí být kompatibilní s budoucími novějšími verzemi ESP3 protokolu. Tato vlastnost se nazývá dopředná kompatibilita a ESP3 ji zajišťuje. Nové softwarové aplikace či zařízení mohou požadovat konkrétní definici nového typu paketu. Avšak pro každý typ paketu je většinou jiný obsah a délka dat. Proto se tyto existující typy paketů modifikují pomocí pole Optional Data, zatímco se pole Data nezmění. Je to jediná možnost, jak toho dosáhnout. [25]



Obr. 18: Znáornění délky paketu [25]

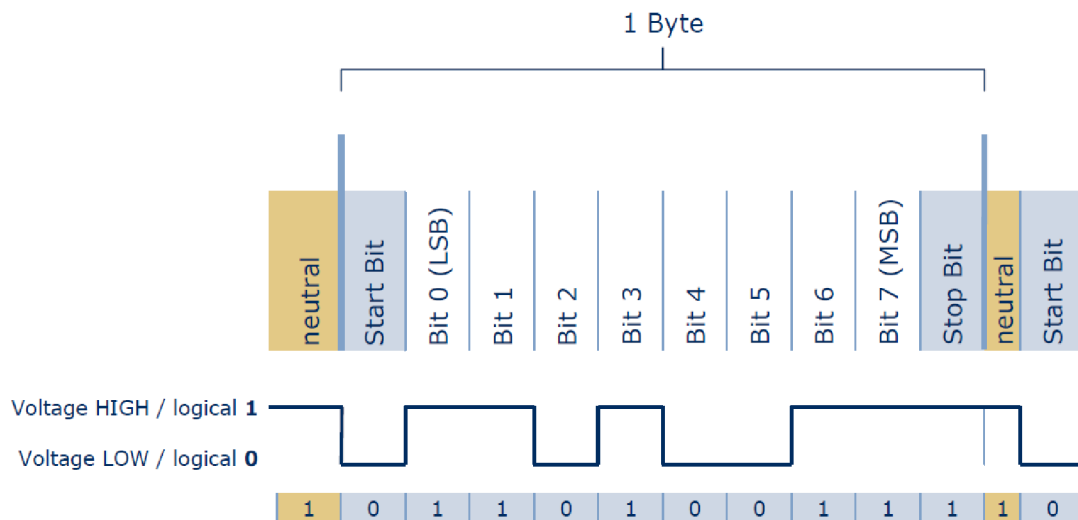
Již existující zařízení, která neznají toto uspořádání paketů, budou reagovat následovně:

- Neznámé typy paketů jsou označeny pomocí zprávy o odezvě jako „not supported“ a dále se již v procesu nezpracovávají.
- U již existujícího typu paketu se nová pole v části Optional Data ignorují a zpráva o odezvě se neodešle.
- Je umožněno přeskočit (nikoli je převést) bajty z bloku Optional Data, když jsou umístěny na konci Optional oblasti. [25]

Tímto je zajištěna zpětná kompatibilita. [25]

6.3 UART

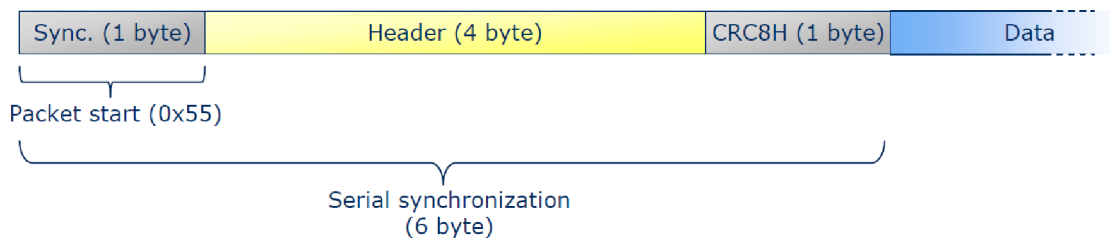
UART neboli „Universal Asynchronous Receiver Transmitter“ je EnOcean model s konstrukcí 8 data bitů. Tvoří rozhraní pro ESP3 sloužící ke komunikaci mezi bezdrátovými moduly EnOcean a hosty. Neobsahuje paritní bity, začíná jedním start bitem nastaveným na logickou 0 a končí jedním stop bitem na logickou 1. Nečinná oblast (neutral) je standardně nastavena na logickou 1. [25]



Obr. 19: Formát modulu UART délky 1 bajt [25]

6.3.1 UART synchronizace

S příchodem ESP3 vysoce vzrostla spolehlivost synchronizace. Jakmile se Sync Bajt (hodnota 0x55) identifikuje, je 4bajtová hlavička porovnána s odpovídající CRC8H hodnotou. Pokud se výsledek shoduje se Sync Bajt, je korektní. Následně jsou ESP3 pakety doslova odhaleny a jejich nadcházející data řádně schválena. Pokud se hlavička neshoduje s CRC8H, tak hodnota 0x55 neodpovídá části Sync Bajt a k synchronizaci nedojde. Uvnitř datového proudu pokračuje sbírání dalších hodnot 0x55 a verifikace se opakuje. [25]



Obr. 20: Ukázka synchronizační části paketu [25]

7 GENERIC PROFILES

Společnost EnOcean vyvinula strukturu EnOcean Equipment Profiles neboli Profily zařízení EnOcean (EEP) k dosažení standardizované komunikace mezi zařízeními používající EnOcean energy harvesting a bezdrátovou technologii. [26]

Stále rostoucí množství EEP a požadavky na mnohem rychlejší dobu nasazení výrobků k prodeji vytvořily potřebu ke vzniku nové konstrukce komunikace mezi variabilními zařízeními a bezdrátovými infrastrukturami EnOcean. [26]

V listopadu 2010 zadala společnost EnOcean Alliance svým vývojářům úkol, aby navrhli konstrukci komunikace, která by mohla překonat zmíněné výzvy. Důležité byly dva cíle:

- 1) Konstrukce komunikace schopná ovládat velké množství variant senzorů a ovladačů bez složitých systémů
- 2) Taková konstrukce komunikace, aby vyžadovala mnohem nižší správní úsilí než dnešní EEP programy. [26]

Generické profily (GP) jsou významným přínosem do EEP s novým inovativním přístupem. To však nečiní EEP nějak zastaralým. Obojí, jak EnOcean Equipment Profiles, tak generické profily popisují datovou komunikaci produktů využívajících EnOcean Radio Protocol a umožňují tak výrobcům vyvíjet interoperabilní produkty. Klíč k jedinečnosti generických profilů je, že umožňují zařízení komunikovat dynamicky se schopností sebe sama charakterizovat. [26]

Nové produkty tedy můžou být vyvíjeny, aniž by museli být předkládány jejich konkrétní profily společnosti EnOcean Alliance, což celý proces výrazně zkracuje. Generické profily tedy umožňují neomezené možnosti a variabilitu. [26]

7.1 Definice slova „generic“

Význam slova „Generic“ (neboli rodový, generický) v ideálním případě znamená, že je možné, aby zařízení jednoho výrobce komunikovalo se zařízením jiného výrobce a také aby schopnost vzájemné výměny dat probíhala bez jakýchkoli dodatečných změn či aktualizací na produktech. [26]

7.2 Konvence

EnOcean Equipment Profiles obsahují soubory tabulek, které definují každé oficiálně podporované zařízení, jak vypadají jeho šířící data. Specifická definice zařízení se odkazuje EEP číslem (R-ORG, FUNC, TYPE). Nicméně přístup generických profilů na místo toho definuje jazyk, který má být použit ke komunikaci vysílaných datových formátů (například rozsah a kategorie). Díky tomu jsou v komunikaci zařízení schopná sebe sama charakterizovat a rozpoznat svoji datovou strukturu. K řízení tak velké rozmanitosti možných dat musí být tento jazyk univerzální a kompaktní. [26]

7.3 Komunikační vrstvy

Protokoly počítačových sítí používají abstraktní vrstvy pro úkryt implementovaných detailů pro jednotlivé nastavení funkcí. Pro komunikaci generických profilů jsou k lokalizaci úloh aplikovány právě tyto abstraktní vrstvy (Communication layers). Převzetím tohoto pohledu na jednotlivé úlohy bude jednou výměna zpráv generických profilů nezávislá na rádiovém, sériovém či nějakém jiném typu komunikace. [26]

Vrstva	Služby
Aplikace	Specifické softwarové aplikace produktu, generování zpráv generických profilů
Prezentace	Zpracování rádiového telegramu
Relace	Nepoužívá se pro generické profily
Transport	Nepoužívá se pro generické profily
Síť	Adresování telegramů, R-ORG, Zpracování statusu

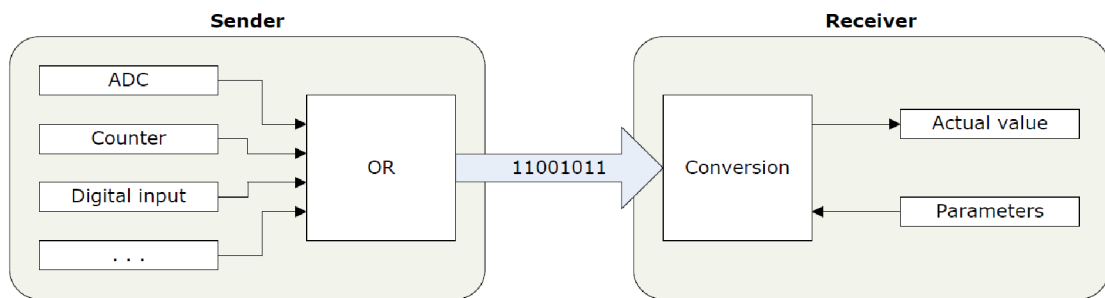
Tab. 4: Tabulka komunikačních vrstev generických profilů dle modelu OSI [26]

7.4 Metoda (Approach)

Data posílána bezdrátově jsou obvykle výsledkem konverze z analogu na digitál nebo stav čítače ve vysílacím zařízení. K udržení energie jsou tato základní měření vyslána přímo použitím pouze tolika bitů, kolik konverze přirozeně produkuje. K určení její aktuální hodnoty je zapotřebí mít soubor s parametry, který umožní si zmapovat právě číslicové hodnoty přímo ve fyzických jednotkách. Deklarací tohoto souboru parametrů je umožněno přijímači přepočítat původně naměřené hodnoty jako příprava na další zpracování. [26]

Generické profily obsahují jazykovou definici s parametrickou selekcí zahrnující jakoukoli možnou naměřenou hodnotu, která má být předána. Tudiž nejenom že metoda definuje parametry pro algoritmus přepočítávací hodnoty, ale také obsahuje specifické definice signálu (například fyzické jednotky). [26]

Pro každé měření musí být soubor s parametry doručen před první operační výměnou dat. To se provede během procesu Teach-in neboli učení. Použitím toho procesu si zařízení popíše svoji budoucí komunikaci sám. [26]



Obr. 21: Schématický příklad metody generických profilů [26]

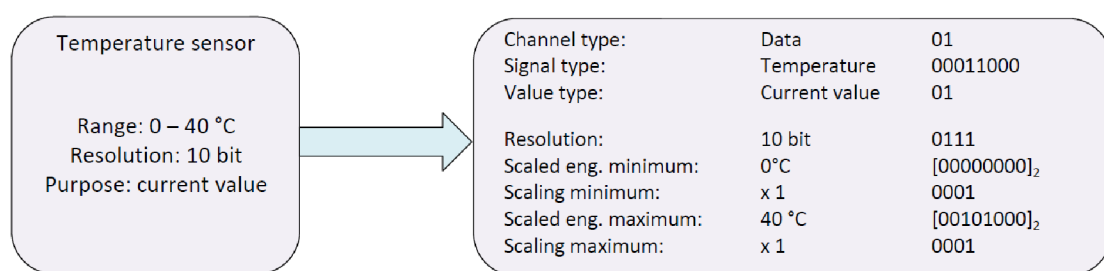
7.5 Charakterizace kanálu

Automatizované zpracování digitálních dat je možné pouze, pokud jsou přístupné všechny informace ohledně získání typu přijatých dat. Prostřednictvím této kvalifikace může být hodnota spojena s jeho fyzickou jednotkou a s její plánovanou aplikací. Proto tyto tři rozdílné parametry, jako jsou channel type (typ kanálu), signal type (typ signálu), value type (typ hodnoty), musí být sděleny. [26]

Channel Type dělí všechny kanály do funkcionálně rozdílných tříd měření. Jsou definované tři typy kanálů:

- data
- flag (indikátor)
- enumeration (výpočet) [26]

Výsledky měření a komplexní vyčtené hodnoty jsou odděleny od jednotlivých logických kanálů a jejich hodnoty jsou vypočteny. [26]



Obr. 22: Příklad definice datového kanálu teplotního senzoru [26]

7.6 Teach-in Process (proces učení)

Jde o proces, kde si komunikující partneři vyměňují informace, jak interpretovat data, která mají být vyměněna v datové komunikaci. Podle pokynů definovaných komunikačních vrstev a generických profilů může každé generické zařízení EnOcean vyměňovat data s kompatibilními zařízeními. [26]

Proto je interpretace přijatých datových zpráv založena na dvou podmínkách:

- Obecně platí, že zpráva musí být přijata jako první – to znamená, že musí obsahovat platné ID EnOcean, které je přijímačem známo nebo může oslovovat EnOcean identifikační čísla přijímačů.
- Přijímač musí znát strukturu uživatelských dat – vzhledem k tomu, že tato struktura je díky generickému přístupu téměř nekonečně proměnná, musí vysílač vysílat také své charakteristiky kanálu. [26]

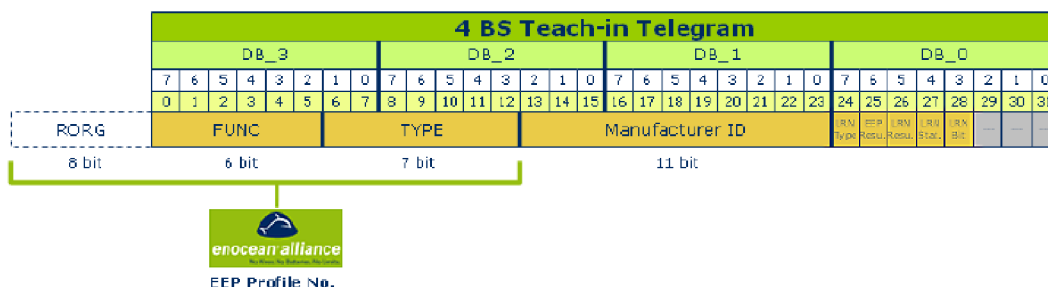
Proces propojení dvou rádiových zařízení EnOcean a výměna iniciačních informací je nazýván Teach-in a musí proběhnout před první operační komunikací. Může dojít i k záměrnému odpojení této vazby nazývané Teach-out. Generický postup Teach-in totiž umožňuje zařízením připojit se k odlišným rádiovým partnerům. Nezabrání tak případu připojení špatných zařízení. [26]

7.7 Postup procesu Teach-in

Proces Teach-in má obousměrný charakter. Proto se skládá ze dvou po sobě jdoucích zpráv:

- 1) Potom, co se přepne přijímač do režimu učení, vysílač začne vysílat zprávu o požadavku Teach-in.
- 2) Přijímač zodpoví zprávu Teach-in, která by měla být adresována vysílači. [26]

Pokud má přijímač schopnost obousměrné komunikace, musí vyslat zprávu s odpovědí Teach-in. Je to potřebné k tomu, aby mohlo být zařízení uvedeno do provozu a k dokumentaci výsledku Teach-in. [26]



Obr. 23: Příklad Teach-in telegramu [27]

7.8 Kompatibilita s EEP

Založení nového konceptu radiokomunikace ve světě, kde existují vysoce integrované systémy, vyžaduje strategii připojování zařízení jak starším, tak novým přístupem. Tím je podle vývojářů míněno, že by veškeré nadcházející uvedení produktů na trh mělo zohledňovat jak EEP specifikace, tak Generické profily. [26]

7.9 Koexistence EEP a GP

Vzhledem k tomu, že podle všeho nejsou generické profily ještě schopné úplně nahradit EnOcean Equipment Profiles, je prozatím nutná koexistence obou konceptů. [26]

Normována je komunikace jak mezi zařízeními EnOcean Equipment Profiles, tak komunikace mezi zařízeními generických profilů. Smíšená výměna dat je sice možná, ale pomocí přístupu generických profilů nebude vynucována. Proto speciální generické profily R-ORG umožňují identifikovat generické telegramy, a tak mohou různí výrobci ve svých produktech implementovat buď oba, nebo jen jeden z uvedených konceptů. Během procesu Teach-in musí totiž dvě vybraná zařízení stanovit, jakým přístupem budou postupovat při výměnách dat. Tímto lze zaručit obecnou kompatibilitu dvou různých profilových přístupů, přestože není nutné, aby byla všechna zařízení schopná se vzájemně propojit. Novým přístupem nelze zabránit neúspěšným Teach-in pokusům. [26]

7.10 Vzdálené řízení

Společnost EnOcean Alliance má vytvořený koncept vzdáleného řízení pomocí mnoha pravidel, která musí jednotlivá zařízení splňovat. Každé zařízení založené na generických profilech, které jsou nepřetržitě napájeny, musí podporovat minimální sadu funkcí podle specifikace vzdáleného řízení EnOcean (ERM – EnOcean Remote Management). Vedle řídicích příkazů vzdáleného řízení (RMCC – Remote Management Control Commands) musí taková zařízení podporovat vzdálené volání procedur (RPC – Remote Procedure Calls) definované ve specifikaci vzdáleného uvedení do provozu (RCS – Remote Commissioning Specification).[26]

8 DISKUZE A ZHODNOCENÍ

8.1 Tvorba řešerše

Na webových stránkách společnosti EnOcean se nachází opravdu velký objem informací, které jsou podávány způsobem jak komerčním, tak velice odborným. K vytvoření dokonale srozumitelného a přehledného popisu technologie EnOcean shrnutého v jedné bakalářské práci by bylo potřeba mít celkový nadhled nad všemi souvislostmi podrobných technických specifikací a sortimentem, také by bylo třeba mít zkušenosti z praktického použití.

Komplikovanější je i samotný proces studia této technologie, a to kvůli hlavním zdrojům psaným kompletně v angličtině. Publikací v českém jazyce, které by se věnovali podrobnější specifikaci EnOcean, je opravdové minimum. Zároveň je zřejmé, že by řešený problém celkově vyžadoval mnohem větší obsahové rozpětí práce.

Co se týče revoluce v tématu energy harvesting, jedná se zde o patent, a proto také na stránkách společnosti nejdou najít některé podrobné specifikace, například jak funguje mechanismus ECO 200, který společně s modulem PTM 330 vytváří ultra nízkou energii pro vysílání telegramů.

8.2 Zhodnocení a můj názor

Je nutné konstatovat, že od jiných bezdrátových systémů jako jsou například Homematic, FS20, Homeeasy, Free-control, Xcomfort, Synco living, se bezdrátová a zároveň bezbateriová technologie EnOcean, výrazně odlišuje. V porovnání s ostatními systémy, má sice nevýhodu ve vyšším procentu poruchovosti a poměrně vyšších pořizovacích nákladech, ale je to právě její nízký ekologický dopad, který v oblasti automatizace budov nemá v podstatě žádné obdoby. Využívání přírodních zdrojů k vlastnímu napájení pro mě bylo a stále je velmi zajímavým tématem. Mezi výhody EnOcean patří nízký ekologický dopad, odstranění nutnosti výměny baterií (protože tam žádné nejsou), omezení údržby a umožnění flexibilního rozmisťování komponentů, které se dá kdykoli jednoduše změnit.

9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s bezdrátovou technologií EnOcean a na základě získaných informací vypracovat přehledný popis této bezdrátové technologie a provést její zhodnocení.

V úvodní kapitole je prezentován celkový kontext automatizace budov a inteligentních domů. Byla také snaha klást důraz na zajímavosti ohledně technologie EnOcean, aby byl čtenář v rychlosti navnaděn na témata, kvůli kterým tuto práci pravděpodobně čte.

Aby byl celkový popis EnOcean komplexní, bylo usouzeno, že nejdříve je nutné se věnovat principu automatizace budov a k čemu slouží. V první kapitole jsou tedy vysvětleny základní pojmy, jako je sběrnice, či protokol a srovnání klasické a sběrnice elektroinstalace.

Následuje kapitola EnOcean. V úvodu je popsána samotná společnost EnOcean, základní informace o ní, co nabízí a na čem pracuje. Důležitou součástí je vysvětlení účelu existence sdružení EnOcean Alliance, které se zásadním způsobem podílí na vývoji a šíření této technologie.

Kapitola Energy Harvesting vystihuje asi nejzásadnější vlastnost této technologie: získávání energie z přebytečných přírodních zdrojů, které umožňují celou bezdrátovou komunikaci oddělit od externího napájení. Tyto zdroje energie jsou zde rozepsány do tří základních: energie z pohybu, světla a teplotního rozdílu. Je zde podrobně rozebrána norma ISO/IEC 14543-3-1X od společnosti EnOcean, která se týká pásma rádiové frekvence. Rozebírá se funkčnost a účinnost vysílačů doporučené rádiové frekvence pod 1 GHz a jejich plánování v projektu budovy.

Následují kapitoly rádiového a sériového protokolu od společnosti EnOcean, které popisují soubory pravidel datové komunikace. Jsou zde popsány funkcionality obou protokolů. U sériového protokolu je uvedeno srovnání oproti starší verzi, kde jsou patrné opravdu velké změny. Rozebrána je struktura paketů a jejich konvenční kompatibilita s novějšími verzemi. Popsán je i UART, tedy komunikační rozhraní pro sériový protokol.

Poslední velká kapitola se nazývá Generické profily, což je projekt snažící se vyvinout něco jako programátorský jazyk umožňující zařízení samostatně si definovat vlastní výrobní profily. Je zde podrobně popsáno, jak spolu zařízení pomocí generických profilů komunikují a jak se charakterizují. Dále se rozebírá prozatím nutná společná existence generických profilů a EnOcean Equipment Profiles (což jsou standardní profily).

Při tvorbě této bakalářské práce jsem se snažil shromáždit exaktní informace a přehledně popsat technologii EnOcean tak, aby mohla sloužit jako soubor srozumitelných informací a na závěr jsem tuto technologii náležitě zhodnotil.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bojanovský, Tomáš. *Technika inteligentních budov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 11s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [2] Rompotl, Zdeněk. *Řízení a vizualizace automatizovaného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 9s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Tlustý.
- [3] Vaňuš, Jan. *Systémová technika budov a bytů*. [online prezentace]. 2003 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/5148895-Katedra-obecne-elektrotechniky-fakulta-elektrotechniky-a-informatiky-vsbtu-ostrava-systemova-technika-budov-a-bytu.html>
- [4] *Unoal.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.unoal.cz/cz/ovladani/systemove-ovladani-domu-io.php>
- [5] *It-slovník.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/sbernice>
- [6] *Outech-havirov.cz* [online]. 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/epo/sbernice.pdf
- [7] *It-slovník.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://it-slovník.cz/pojem/protokol>
- [8] *Home-assistant.io* [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://home-assistant.io/components/sensor.enocean/>
- [9] *Enocean.com* [online]. 2015 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/White_Paper_Getting_Started_With_EnOcean.pdf
- [10] *Enocean-alliance.org* [online]. 2014 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <https://www.enocean.com/en/internet-of-things-applications/smart-home-and-home-automation/>
- [11] *Enocean-alliance.org* [online]. 2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.enocean-alliance.org/products/?_sft_enocean_product_category=gateway-other
- [12] Matz, Václav. *Systémy používané v "inteligentních" budovách – přehled komunikačních protokolů*. [online]. 2010 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6879-systemy-pouzivane-v-inteligentnich-budovach-prehled-komunikacnich-protokolu#english_synopsis
- [13] *Baulogic.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.baulogic.com/knx/>
- [14] *Wikipedia.org* [online]. 2013 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Energy_harvesting
- [15] *Pandatron.cz* [online]. 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?2972&bezdratove_moduly_bez_potreby_napajeni
- [16] *Enocean.com* [online]. 2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.enocean.com/en/enocean_modules/eco-200/White_Paper_PTM33x_EN_05.pdf/
- [17] *Enocean.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.enocean.com/en/enocean_modules/eco-200/

- [18] *Paoli.cz* [online]. 2014 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: https://www.paoli.cz/enOcean-ptm-332.html?utm_source=cz_google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Bezdratove+moduly&utm_term=EnOcean+PTM+332&gclid=CjwKEAjwgZrJBRDS38GH1Kv_vGYSJAD8j4DfUYb0rlSkQkBO1DVRnH3h4BPbx2-KqwVOH7hrz23owhoCiIrw_wcB
- [19] *Wikipedia.org* [online]. 2016 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lux_\(světlo\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lux_(světlo))
- [20] *EnOcean.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.enOcean.com/en/enOcean_modules/ecs-300/
- [21] *Element14.com* [online]. 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-69828/l/enOcean-sensor-kit-bringing-home-automation-to-the-raspberry-pi>
- [22] *EnOcean.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.enOcean.com/en/enOcean_modules/ect-310-perpetuum/
- [23] Anders, Armin. *EnOcean Wireless Systems – Range Planning Guide* [online]. 2008 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.enOcean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/WP_RANGE_PLANNING_Jun09_en.pdf
- [24] *EnOcean.com* [online]. 2010 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.enOcean.com/erp1/>
- [25] *EnOcean.com* [online]. 2016 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.enOcean.com/esp>
- [26] Ramon, San. *Generic Profiles v 1.0* [online]. 2013 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: https://www.enOcean.com/fileadmin/redaktion/enOcean_alliance/pdf/GenericProfiles_V1_Extract.pdf
- [27] *TheThingbox.io* [online]. 2017 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://thethingbox.io/docs/enOceanA5Temp.html>

11 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam zkratek

ERP	EnOcean Radio Protocol
ESP3	EnOcean Serial Protocol 3
ESP2	EnOcean Serial Protocol 2
GP	Generic Profiles
Hz	Hertz
GHz	GigaHertz
EIB	European Installation Bus
BACnet	Building Automation and Control Networks
LON	Local Operating Network
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
GSM	Global System for Mobile Communication
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
USB	Universal Serial Bus
DC/DC	Direct Current
plug&play	technologie automatické konfigurace hardwaru
ISO	International Organization for Standardization
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISM	Industrial, Scientific and Medical Zone
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
mW	miliWatt
LED	Light Emitting Diode
MHz	MegaHertz
ID	Identity Document
RC	Rolling Code
AES	Advanced Encryption Standard
EEP	EnOcean Equipment Profiles
RPC	Remote Procedure Call
RMCC	Response Management Communication Center
OSI	Open Systems Interconnection
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
ERM	EnOcean Remote Management
RMCC	Remote Management Control Commands
RPC	Remote Procedure Calls
RCS	Remote Commissioning Specification

11.2 Seznam obrázků

- Obr. 1: Příklad automatizovaného inteligentního domu [4]
- Obr. 2: Princip propojení zařízení u klasické domovní elektroinstalace [3]
- Obr. 3: Princip propojení zařízení u sběrnicevého systému elektroinstalace [3]
- Obr. 4: Závislost nákladů na výkonnosti elektroinstalace [2]
- Obr. 5: Logo společnost EnOcean [8]
- Obr. 6: Přehled využití systému KNX [13]
- Obr. 7: Příklad systému LonWorks [12]
- Obr. 8: Schéma bezdrátové komunikace bezbateriové technologie EnOcean [15]
- Obr. 9: Konvertor mechanické energie EnOcean ECO 200 [17]
- Obr. 10: Bezdrátový modul EnOcean PTM 332 [18]
- Obr. 11: Fotovoltaický článek EnOcean ECS 310 [20]
- Obr. 12: Bezdrátový modul EnOcean STM 310 [21]
- Obr. 13: EnOcean ECT 310 Perpetuum [22]
- Obr. 14: Příklad plánování rozmístění přijímačů a vysílačů v budově [23]
- Obr. 15: Datová struktura subtelegramu [24]
- Obr. 16: Znázornění sériové komunikace mezi hostitelem a modulem [25]
- Obr. 17: Struktura paketu [25]
- Obr. 18: Znázornění délky paketu [25]
- Obr. 19: Formát modulu UART délky 1 bajt [25]
- Obr. 20: Ukázka synchronizační části paketu [25]
- Obr. 21: Schématický příklad metody generických profilů [26]
- Obr. 22: Příklad definice datového kanálu teplotního senzoru [26]
- Obr. 23: Příklad Teach-in telegramu [27]

11.3 Seznam tabulek

- Tab. 1: Tabulka zemí a odpovídajících frekvenčních pásem [9]
- Tab. 2: Základní funkce rádiového protokolu v modelu OSI vrstev [24]
- Tab. 3: Tabulka porovnání protokolů ESP2 a ESP3 [25]
- Tab. 4: Tabulka komunikačních vrstev generických profilů dle modelu OSI [26]