

OVĚŘENÍ POUŽITELNOSTI TECHNOLOGIE STANDARDU DMR K PŘENOSU MLUVENÉHO SLOVA PRO POTŘEBY TÍŠŇOVÉHO INFORMOVÁNÍ OBYVATELSTVA

PROCESS OF VERIFYING USABILITY OF THE DIGITAL MOBILE RADIO TECHNOLOGY FOR TRANSMITTING A SPOKEN WORD FOR EMERGENCY INFORMATION

František GINZL
frantisek.ginzl@ioolb.izscr.cz

Abstract

The paper describes results obtained in a process of verifying usability of the Digital Mobile Radio Technology for transmitting a spoken word into electronic warning and mass notification devices - electronic sirens and local information systems. Possibility of transmitting a spoken word would significantly improve functionality of the Unified System of Warning and Notification that could also be used to provide operational emergency information.

Key words

Electronic siren, end component unit of warning, local information system, transceiver, transmitter, standard DMR, Text-To-Speech, unified system of warning and notification, voice intelligibility.

Úvod

Včasné a spolehlivé varování obyvatelstva je základním opatřením směřovaným k zajištění jeho ochrany. K naplnění tohoto opatření provozuje HZS České republiky jednotný systém varování a vyrozumění (dále jen JSVV) [1] a [2]. Rozšiřující se spektrum možných ohrožení obyvatelstva klade nové nároky na systém varování a jeho funkcionality. Varování prostřednictvím sirén je sice akusticky výrazně robustní, ale jeho informační hodnota je nízká. Tíšňové informace jsou naproti tomu akusticky subtilnější, avšak mohou být detailnější ve vztahu k aktuální situaci a potřebné reakci obyvatelstva na ní, tedy i účinnější. Varovný signál může informační kampaň účinně zahájit, její provedení však bude ve značné míře opřeno o verbální formy komunikace [3].

Nové koncové prvky varování (elektronické sirény a místní informační systémy) jsou schopny tíšňové informace poskytovat. Dálkově je však možné z vyrozumívacích center odbavit pouze verbální informace předem nahrané a uložené v pamětech těchto koncových prvků, případně připojit jiný zdroj modulace. Tím je zpravidla FM rozhlasový přijímač, kterým jsou elektronické koncové prvky varování standardně vybaveny. V některých lokalitách lze v rámci autonomních systémů využít i jiné externí zdroje modulace.

Aktuální tíšňové informace lze prostřednictvím JSVV poskytovat pouze lokálně, cestou místního odbavení přímo z příslušného koncového prvku, tedy z nejnižších úrovní orgánů krizového řízení. Poskytování aktuálních tíšňových informací z vyšších úrovní krizového řízení je pak víceméně možné pouze cestou hromadných sdělovacích prostředků. Tíšňové informování je kompetentními orgány poněkud opomíjeno a jedním z důvodů je i to, že tato funkcionalita není stávající přenosovou infrastrukturou JSVV plnohodnotně podporována. Možnost poskytování aktuálních tíšňových informací z vyšších úrovní krizového řízení je jedním ze zásadních požadavků na modernizaci přenosové infrastruktury JSVV.

Ověřování použitelnosti technologie Digital Mobile Radio (dále i jen DMR) [4] bylo provedeno v rámci projektu VI20152020019 – Výzkum kritických informačních struktur státu se zaměřením na jednotný systém varování a informování obyvatelstva (dále jen JSVI). Cílem projektu je průmyslový výzkum a vytvoření zabezpečeného JSVI, založeného na moderních principech a možnostech současných i budoucích ICT technologií. V rámci projektu má být navržena metodika použití takové moderní infrastruktury JSVI využívané v rámci ČR pro přenos informací mezi dispečerskými pracovišti (složky IZS, krizové štáby, další osoby odpovědné za řešení mimořádných událostí) a koncovými prvky JSVI (zařízení pro varování a informování obyvatelstva, pro monitoring prostředí a sběr jiných dat). Účelem tohoto komplexního systému je zvýšení bezpečnosti obyvatelstva a zabezpečená infrastruktura pro komunikaci s koncovými prvky varování nejen pro použití složkami IZS.

Koordinátorem projektu je společnost Colsys s.r.o. Na řešení projektu se podílejí České vysoké učení technické v Praze – Fakulta biomedicínského inženýrství a Ministerstvo vnitra – generální ředitelství HZS ČR – Institut ochrany obyvatelstva.

V dalším textu bude ve spojitosti s novým systémem používán pojem JSVI, protože lépe vystihuje faktické určení systému pro varování a tísňové informování obyvatelstva. K vyrozumění osob, které bylo v době zavádění stávajícího systému hojně využívanou funkcionalitou, jsou v současné době používány jiné, modernější technologie a postupy. Pojem vyrozumění, ve spojitosti se systémem varování, proto pozbývá na významu.

V průběhu předchozích etap řešení byla analyzována metodika použití stávající infrastruktury a koncových prvků varování a stanoveny zásadní požadavky na technické parametry a užité vlastnosti technických zařízení komunikační infrastruktury a koncových prvků JSVI.

Následně bylo provedeno technickoekonomické zhodnocení potenciálních technologií pro komunikační infrastrukturu JSVI. Byly posuzovány hlavně technologie standardizované Evropským standardizačním institutem (ETSI), aby nový systém nebyl omezován proprietárními řešeními.

Na základě provedených analýz a s přihlédnutím ke stavu řešení obdobných systémů v zahraničí bylo doporučeno:

- ponechat i nadále stávající přenosovou infrastrukturu JSVV postavenou na bázi technologie POCSAG [5] pro základní řízení koncových prvků varování. Výhodou této technologie je její jednoduchost a z ní vyplývající spolehlivost, což znamená i snadnou udržitelnost ve vypjatých mimořádných situacích,
- pro zajištění nově požadovaných funkcionalit, včetně kontroly stavu koncových prvků varování a zajištění propojení se systémy monitoringu prostředí, bylo doporučeno zaměřit rozvoj nové komunikační infrastruktury JSVI na technologii DMR. Ve vazbě na strategii NAKIT pro zajištění mobilních komunikačních služeb pro složky IZS brát v potaz i technologii LTE [6].

Počátkem roku 2017 proběhlo na pracovištích spol. Colsys s.r.o. a ČVUT laboratorní testování technologie DMR pro ovládání stávajících koncových prvků varování a ověření možnosti přechodu z analogového přenosového prostředí na digitální, byla stanovena referenční sestava a provedeno měření její energetické náročnosti.

Materiál a metody ověření

Další ověření použitelnosti technologie DMR k daným účelům proběhlo na sklonku léta loňského roku na zkušebním polygonu Výzkumného a experimentálního centra Institutu ochrany obyvatelstva Lázně Bohdaneč. Zde proběhla řada experimentů, jejichž cílem bylo ověřit, zda technologie standardu DMR umožňuje přenést modulaci řeči ve kvalitě, která zajistí

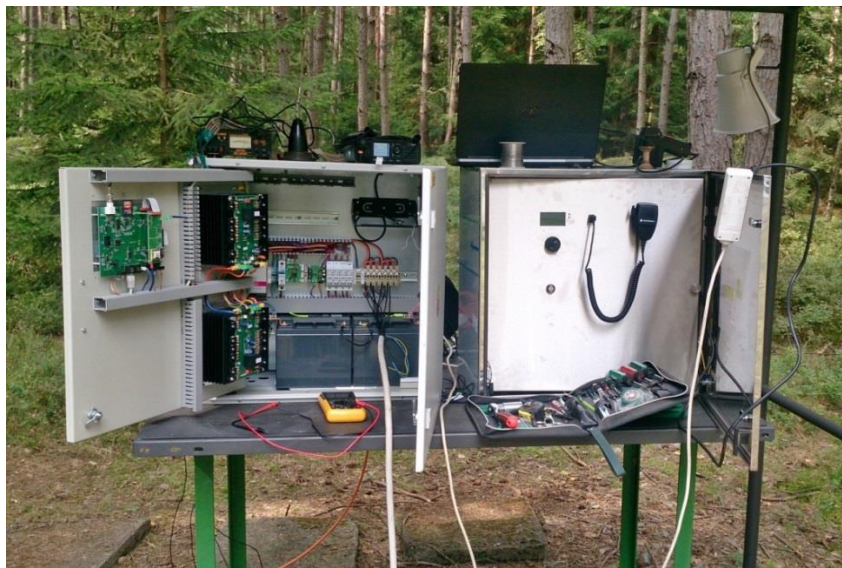
dostatečnou srozumitelnost verbálních informací při jejich reprodukci výkonnými elektronickými koncovými prvky varování.

Při experimentech byla používána přenosová zařízení DMR (převaděče a radiostanice) dvou výrobců, a to v různých vzájemných kombinacích. Technologie DMR byly při experimentech používány v komplexu, který simuloval podmínky reálného provozu JSVI, tj. přenosy byly realizovány ke koncovým zařízením prostřednictvím převaděče a přenosový řetězec byl tvořen minimálně dvěma rádiovými spoji.

Technologie standardu DMR v přenosové cestě používá klíčování frekvenčním posuvem 4FSK s přenosovou rychlostí 3600 b/sec. Je použito řešení, kdy se kódují jednotlivé hlásky o délce 20ms. Pro digitalizaci je používán kodek vocoderu AMBE2+ [7].

Při experimentech byly ověřovány oba zásadní druhy elektronických koncových prvků varování – místní informační systémy i elektronické sirény. Experimenty proběhly na dvou typech digitálních bezdrátových místních informačních systémů (dále i jen BMIS), které využívají v přenosové cestě mezi řídicí ústřednou systému a koncovými ozvučovacími zařízeními (hlásiči) rozdílné modulace a pro digitalizaci signálu odlišné kodeky. Jeden BMIS v přenosové cestě užívá modulaci DRM+ [8] a druhý kvadraturní fázovou modulaci QAM [9]. Pro porovnání vlivu digitalizace přenosu byly provedeny totožné experimenty i s analogovým místním informačním systémem (dále i jen MIS) se 100 V linkovým připojením tlakových reproduktorů. Pro reprodukci audiosignálu byla použita u všech těchto zařízení koncová ozvučovací zařízení se 4 tlakovými reproduktory 30 W.

Dále byly ověřovány dva typy elektronických sirén. Byly vybrány sirény, které reprezentují portfolio sirén využívaných v rámci stávajícího JSVV. Volba byla cílena tak, aby bylo možné ověřit vliv přenosu modulace technologií DMR na srozumitelnost mluveného slova při reprodukci koncovými zařízeními, která používají nf. zesilovače různých tříd. U jedné sirény je použit zesilovač třídy AB a u druhé širokopásmový zesilovač třídy D [10]. Byly použity sirény ve výkonové řadě 250 W – 300 W. U obou sirén byly použity dvě akustické jednotky 150 W.



Obr. 1
Elektronické sirény s radiostanicemi DMR

V rámci experimentů bylo zjišťováno ovlivnění srozumitelnosti řeči technologií DMR, která byla začleněna do zkušebního přenosového řetězce. Pro hodnocení byly použity výsledky dosažené v totožném zkušebním řetězci, který rádiovou technologii DMR neobsahoval.

Experimenty probíhaly v exteriéru na zkušebním polygonu, na kterém jsou uskutečňována měření akustických parametrů koncových prvků varování.

Zdrojem audio signálu byl notebook, který byl připojen k audio vstupu řídicí elektroniky koncového prvku varování, případně ke vstupu radiostanice DMR. Byly používány sady textů nahrané v profesionální kvalitě, školenými hlasateli. Byly použity tyto sady textů:

- jednotlivá slova v ženské i mužské hlasové podobě. Jednalo se o nahrávky používané v rámci zkoušek akustických parametrů koncových prvků varování,
- verbální informace v mužské i v ženské hlasové podobě. Byly použity nahrávky verbálních informací, které jsou používány v elektronických prvcích varování,
- čtený text. Byly použity audioknihy v mužské i ženské hlasové podobě a
- převod textu do řeči s využitím syntézy Text-To-Speech (dále i jen TTS) [11]. Byl použit pouze převod do mužské hlasové podoby.

Bylo použito subjektivní hodnocení kvality řečového signálu panelem posluchačů, kteří postupovali po ose směrem od zdroje (koncové ozvučovací zařízení MIS, nebo elektronická siréna) a zaznamenávali vzdálenost, na které byli schopni spolehlivě porozumět reprodukovatému textu (dále i jen vzdálenost srozumitelnosti).

Metoda subjektivního ohodnocení kvality řečového signálu byla užita proto, že je nezávislá na typu degradace hovorového signálu, ať se jedná o ztrátu rámců, šum, chybovost přenosu, ozvěny nebo nelineární zkreslení při použití kodeků s nízkými přenosovými rychlostmi. Protože experimenty probíhaly v exteriéru, byla z důvodu dosažení co nejvyšší vypovídací hodnoty aplikována poslechová metoda absolutního ohodnocení ACR (Absolute Category Rating) [12]. Při hodnocení poslechové kvality byla použita pětistupňová škála:

- 5 - výborně (Excellent),
- 4 - dobře (Good),
- 3 - průměrně (Fair),
- 2 - špatně (Poor) a
- 1 - nedostatečně (Bad).

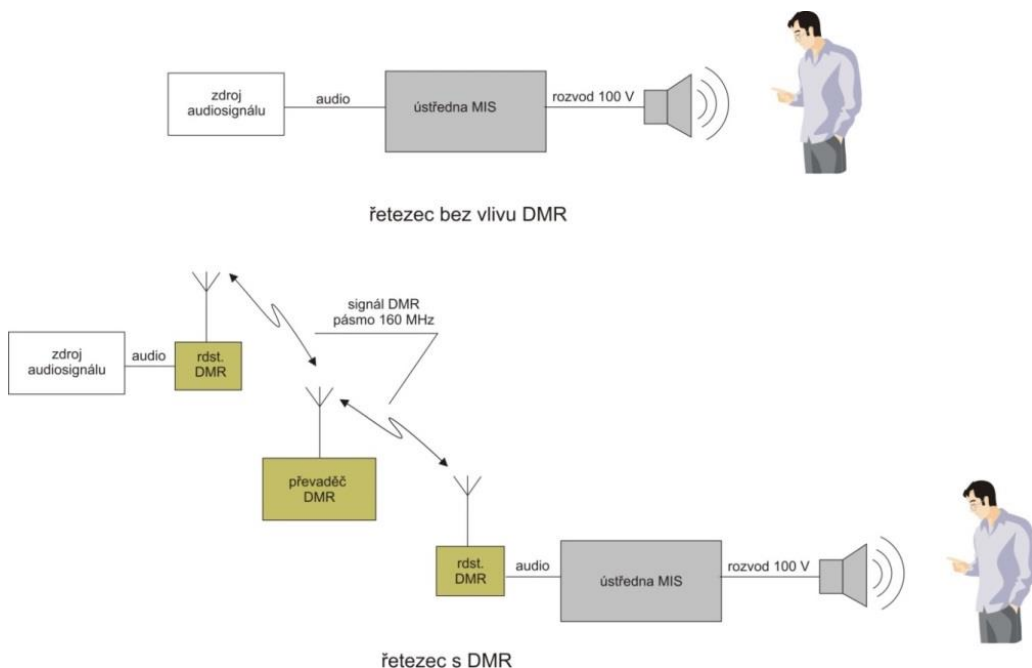
Mírou pro stanovení vzdálenosti spolehlivého porozumění bylo dosažení hodnot 3 až 5 ze škály poslechové kvality.



Obr. 2
Koncová ozvučovací zařízení při experimentech

Výsledky dosažené s analogovým místním informačním systémem

V rámci těchto experimentů se ve zkušební řetězci uplatnily pouze vlivy modulace 4FSK a kodeku vocoderu AMBE2+, které jsou použity v technologii DMR. Složení zkušebních řetězců s analogovým MIS, který používá linkový rozvod 100 V je na obr. 3.

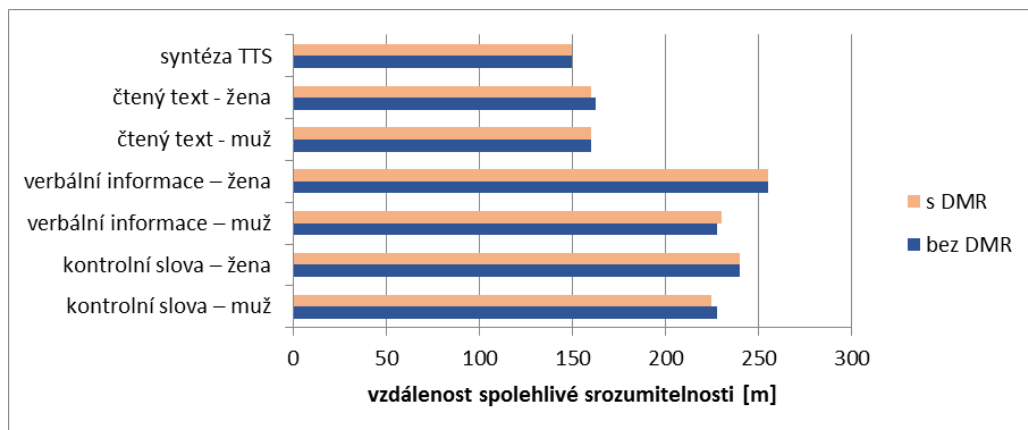


Obr. 3
Zkušební řetězec pro zkoušku analogového MIS

V následující tabulce č. 1 jsou uvedeny dosažené výsledky, které jsou dále znázorněny i v grafické podobě.

Tabulka 1
Vzdálenost srozumitelnosti analogového místního informačního systému

sada zkušebního textu	vzdálenost srozumitelnosti [m]	
	bez DMR	s DMR
kontrolní slova – muž	227,5	225
kontrolní slova – žena	240	240
verbální informace – muž	227,5	230
verbální informace – žena	255	255
čtený text - muž	160	160
čtený text - žena	162,5	160
syntéza TTS	150	150



Graf 1
Vzdálenost srozumitelnosti analogového místního informačního systému

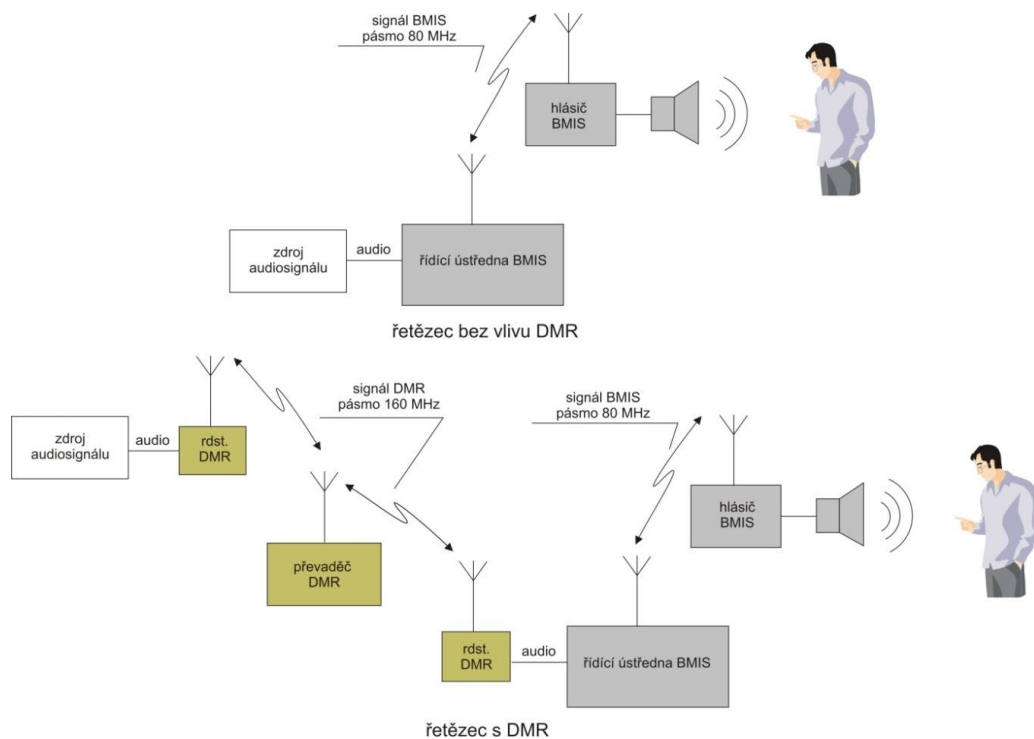
Se všemi sadami textů bylo dosaženo v obou řetězcích téměř shodných výsledků. Drobné rozdíly v řádu jednotek procent lze přičíst na vrub vlivu povětrnostních podmínek v okamžiku konkrétního hodnocení srozumitelnosti. Povětrnostní podmínky, z krátkodobého hlediska zejména rychlost a směr větru, ovlivňují významně šíření vlastního užitečného signálu, ale i hladinu hluku pozadí.

Testy prokázaly, že technologie DMR srozumitelnost přenášeného mluveného slova neovlivnila.

Výsledky dosažené s bezdrátovými místními informačními systémy

Při těchto experimentech byl ověřován vliv technologie DMR na srozumitelnost v kombinaci s vlivy, které do přenosového řetězce vnese další digitalizace signálu. Jedná se o další rádiový přenos s odlišnou modulací a s použitím jiných kodeků vocoderu na cestě mezi řídicí ústřednou a koncovými ozvučovacími jednotkami (hlásiči) BMIS.

Složení zkušebních řetězců s digitálními bezdrátovými místními informačními systémy je na obr. 4.



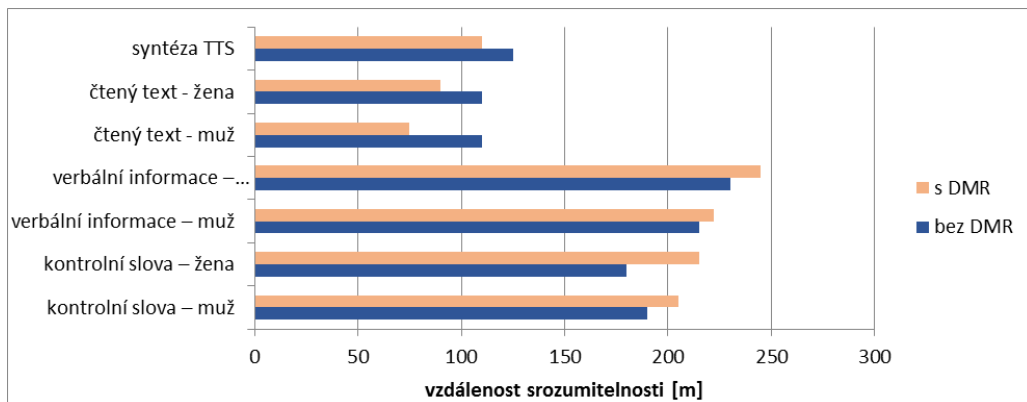
Obr. 4

Zkušební řetězec pro zkoušku bezdrátových místních informačních systémů

Tabulka 2

Vzdálenost srozumitelnosti u BMIS s modulací DRM+

sada zkušebního textu	vzdálenost srozumitelnosti [m]	
	bez DMR	s DMR
kontrolní slova – muž	190	205
kontrolní slova – žena	180	215
verbální informace – muž	215	222
verbální informace – žena	230	245
čtený text - muž	110	75
čtený text - žena	110	90
syntéza TTS	125	110



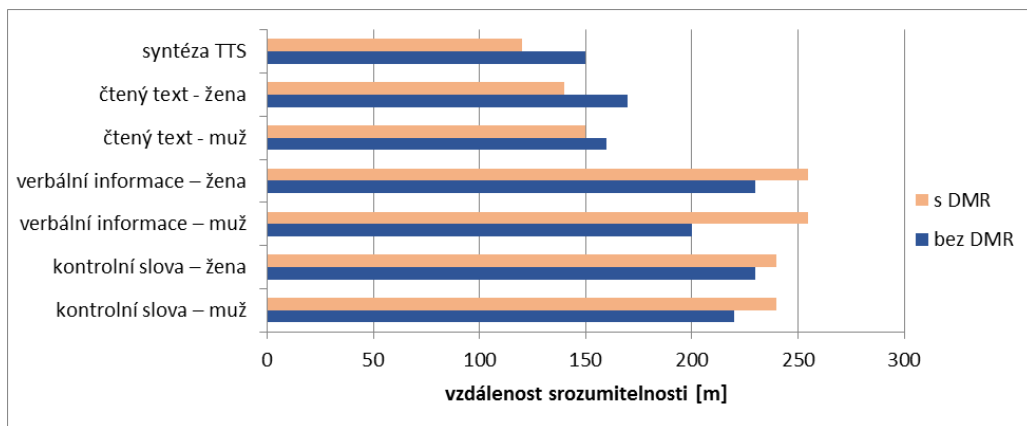
Graf 2

Grafické porovnání dosažených vzdáleností srozumitelnosti u BMIS s modulací DRM+

Tabulka 3

Vzdálenost srozumitelnosti BMIS s modulací QAM

sada zkušebního textu	vzdálenost srozumitelnosti [m]	
	bez DMR	s DMR
kontrolní slova – muž	220	240
kontrolní slova – žena	230	240
verbální informace – muž	200	255
verbální informace – žena	230	255
čtený text - muž	160	150
čtený text - žena	170	140
syntéza TTS	150	120



Graf 3

Grafické porovnání dosažených vzdáleností srozumitelnosti BMIS s modulací QAM

Při začlenění technologie DMR do přenosového řetězce bylo dosaženo u obou testovaných BMIS nárůstu ve vzdálenosti srozumitelnosti u kontrolních slov a verbálních informací v obou hlasových podobách. To lze přičíst tomu, že technologie DMR omezila šířku kmitočtového pásma přenášeného signálu a konečným efektem pak bylo to, že koncovými ozvučovacími jednotkami bylo více akustické energie využito v pásmu, které je pro identifikaci obsahu řeči podstatné.

U čtených textů a syntézy TTS byl naopak zaznamenán pokles ve vzdálenosti srozumitelnosti. Digitální přenos je ovlivněn technologií zdrojového kódování řeči a způsobem následného přenosu datových paketů v rádiové části řetězce. Míra tohoto ovlivnění je pak závislá i na kvantitativních a kvalitativních parametrech hlasu a hlasové techniky hlasatele [13], které se mezi jednotlivými sadami zkušebních textů výrazně odlišovaly. Nahrávky kontrolních slov a verbálních informací obsahují delší časové odstupy mezi jednotlivými slovy v porovnání s běžnou mluvou. U těchto sad textů je použita i nižší rychlost mluvy a kladen důraz na artikulaci.

Čtené texty, pro které bylo použito audioknih, se vyznačovaly podstatně vyšší dynamikou [14] a výraznými změnami v rychlosti verbálního projevu. Řada pasáží byla podmalována hudbou a dalšími zvukovými efekty. To vše jsou prvky, jejichž záměrem je dosáhnout maximálního estetického zážitku z poslechu. Pro vlastní obsah sdělení jsou postradatelné a pro srozumitelnost řeči při použití akusticky výkonných koncových prvků varování v některých ohledech i degradující. U audioknih se předpokládá použití zejména v komorním prostředí interiéru nebo poslech ze sluchátek. To představuje i reprodukci s nižší hlasitostí, s omezeným vlivem hluku pozadí a za podmínek omezených vlivů dozvuku a ozvěny [15], které jsou způsobovány odrazy akustické energie od překážek. Právě to jsou výrazné průvodní jevy šíření zvuku z výkonných akustických prostředků ve venkovním prostředí.

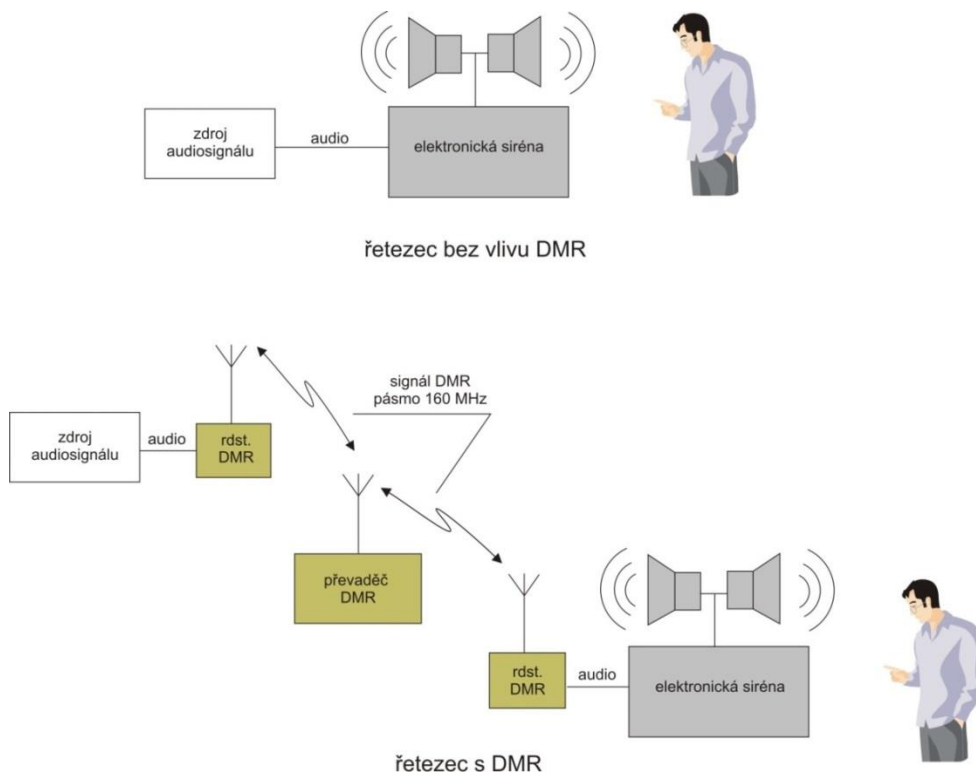
U syntézy TTS měla na výsledky nejvyšší vliv rychlost verbálních sdělení. Použitá aplikace neumožňovala nastavit rychlost čtení textu, a ta odpovídala rychlosti běžného hovorového projevu.

U BMIS, který k přenosu k akustickým hlásičům používá modulace DRM+, bylo v řetězci obsahujícím technologii DMR dosaženo lepších výsledků se zkušebními texty v ženské hlasové podobě. U BMIS s modulací QAM byly dosaženy srovnatelné výsledky v obou hlasových podobách.

Výsledky dosažené s elektronickými sirénami

Složení zkušebních řetězců testů s elektronickými sirénami je na obr. 5. Tyto experimenty měly ověřit možný vliv technologie DMR na srozumitelnost mluveného slova při použití koncových prvků varování s nf. zesilovači různých tříd.

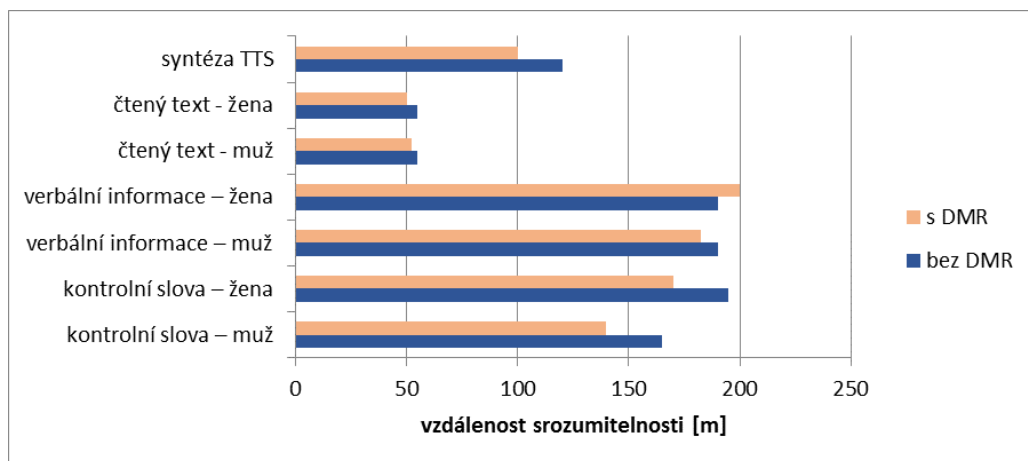
Z časových důvodů se nepodařilo uskutečnit kompletní sadu testů s oběma typy elektronických sirén. Kompletní testy byly provedeny pouze se sirénou s nf. zesilovačem tř. AB. U sirény se zesilovačem tř. D neproběhly testy v řetězci bez technologie DMR.



*Obr. 5
Zkušební řetězec pro zkoušku elektronických sirén*

*Tabulka 4
Vzdálenost srozumitelnosti elektronické sirény se zesilovačem třídy AB*

sada zkušebního textu	vzdálenost srozumitelnosti [m]	
	bez DMR	s DMR
kontrolní slova – muž	165	140
kontrolní slova – žena	195	170
verbální informace – muž	190	182,5
verbální informace – žena	190	200
čtený text - muž	55	52,5
čtený text - žena	55	50
syntéza TTS	120	100



Graf 4

Grafické porovnání vzdáleností srozumitelnosti s elektronickou sirénou se zesilovačem třídy AB

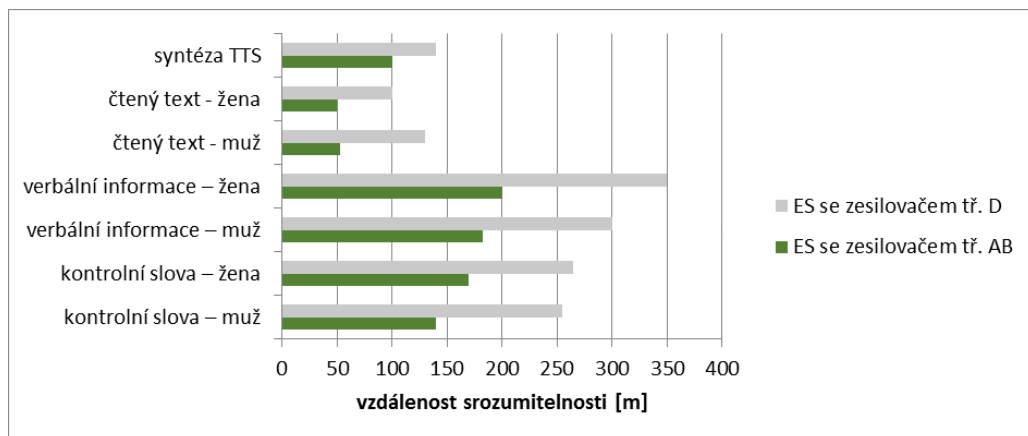
Výsledky sirény se zesilovačem třídy AB byly jedinými testy, ve kterých bylo v řetězcích s technologií DMR dosaženo horších výsledků v porovnání s výsledky bez této technologie. Výjimkou byly testy se sadou verbálních informací v ženské hlasové variantě.

U testů s elektronickými sirénami bylo obecně dosaženo lepších výsledků se zkušebními testy v ženské hlasové podobě. Byly však zaznamenány výrazné rozdíly ve vzdálenosti srozumitelnosti mezi sirénami obdobného výkonu v řetězci, který obsahoval technologii DMR. To je zřejmé z tabulky a grafu č. 5.

Tabulka 5

Vzdálenost srozumitelnosti elektronických sirén v řetězci s technologií DMR

sada zkušebního textu	vzdálenost srozumitelnosti [m]	
	zes. tř. AB	zes. tř. D
kontrolní slova – muž	140	255
kontrolní slova – žena	170	265
verbální informace – muž	182,5	300
verbální informace – žena	200	350
čtený text - muž	52,5	130
čtený text - žena	50	100
syntéza TTS	100	140



Graf 5

Grafické porovnání vzdáleností srozumitelnosti s elektronickými sirénami v řetězci s technologií DMR

Se sirénou, ve které je použit zesilovač třídy AB, bylo dosaženo významně horších výsledků než se sirénou, ve které je použit širokopásmový zesilovač třídy D. To lze přičíst tomu, že u sirény se zesilovačem třídy AB je zesilovač optimalizován k dosažení maximálního akustického výkonu pro varovný signál, tj. je použito užší kmitočtové pásmo.

Výsledky mohly být ovlivněny i nedostatečným přizpůsobením vstupu pro připojení externího audia u sirény se zesilovačem tř. AB. Po vyřazení oddělovacího transformátoru ze vstupu pro externí zdroj modulace bylo dosaženo podstatně lepší srozumitelnosti než při prvních testech, během kterých byl oddělovací transformátor zapojen. Z časových důvodů však nebylo možné vstup pro připojení externího audia dále optimalizovat. V tomto příspěvku jsou prezentovány pouze výsledky, které byly dosaženy bez oddělovacího transformátoru. U sirény se zesilovačem třídy D nebylo nutné žádné úpravy na vstupu externího audia provádět.

Závěr

Experimenty prokázaly použitelnost technologie DMR pro přenos mluveného slova ke koncovým prvkům varování. Technologie DMR srozumitelnost přenášeného mluveného slova za daných podmínek podstatně neovlivňovala. U informací nahraných pro účely tísňového informování v potřebné kvalitě a při dodržení patřičných zásad verbálním projevem byla srozumitelnost dokonce lepší. Kodek AMBE2+ použitý v technologii DMR je sice relativně ztrátový (nižší kvalita zvuku), ale je velmi robustní, neboť používá nízké přenosové rychlosti 3,6 kbit/s a autokorekční algoritmy. Znamená to, že i při předpokládané poměrně vysoké chybovosti přenosu je možné přenášet srozumitelnou hlasovou informaci. Navíc jsou použity i algoritmy pro potlačení okolního hluku, čímž je dosahováno velmi dobré odolnosti přenosu proti rušení na pozadí.

V rámci experimentů nebyly zaznamenány problémy při použití zařízení DMR různých výrobců v jednom přenosovém řetězci.

Experimenty potvrdily, že na srozumitelnost informací při jejich reprodukci výkonnými akustickými prostředky mají závažný vliv:

- kvantitativní parametry hlasu (intenzita a výška hlasu, fonační doba) [14],
- kvalitativní parametry hlasu (čistota hlasu, znělost hlasu a hlasová technika) [14] a
- oddělování jednotlivých slov přiměřeně dlouhými mezerami, čímž je eliminován vliv rušivých dozvuků, ozvěn a vícenásobných příjmů [15].

Diskuse

Použití technologie DMR by umožnilo rozšířit užité vlastnosti JSVI o funkcionality, které stávající přenosová infrastruktura JSVV neposkytuje a ani poskytnout nemůže. Bylo by tak možné plnohodnotně využít potenciálu, který moderní elektronické koncové prvky varování nabízejí.

V případě zavedení přímých hlasatelských vstupů do JSVI by bylo vhodné zaměřit přípravu pracovníků směn operačních středisek a dispečerských pracovišť, ze kterých se varování a tísňové informování obyvatelstva uskutečňuje, k hlasatelským dovednostem. Při vysílání tísňových informací musí hlasatel brát v úvahu výše uvedené vlivy, které determinují srozumitelnost řeči v podmínkách šíření zvuku ve venkovním prostředí. Z toho vyplývá, že by měl mít v této činnosti zkušenosti, případně k ní být školen. Neznalost a nervozita hlasatele mohou výrazně ovlivnit jeho verbální projev. Lze dedukovat, že ve vypjaté krizové situaci bude vliv nervozity podstatně vyšší.

Nad rámec cílů řešení projektu byla proto experimentálně ověřována i možnost využití systému TTS. Zásadní předností strojového převodu psaného textu do hlasové podoby je to, že eliminuje právě nervozitu hlasatele. Systém TTS by umožňoval tísňové informace předem obsahově písemně optimalizovat a následně je i dostatečně kvalitně odbavit. Využití aplikací TTS k účelům tísňového informování se proto doporučuje ještě dále ověřit. Při tom se zaměřit zejména na optimální nastavení parametrů pro dosažení dobré srozumitelnosti informací ve venkovním prostředí.

Příspěvek vznikl v rámci projektu VI20152020019 – Výzkum kritických informačních struktur státu se zaměřením na jednotný systém varování a informování obyvatelstva.

Literatura

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 73.
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška ministerstva vnitra číslo 380 /2002 Sb. ze dne 9. srpna 2002 k přípravě a provádění úkolů ochrany obyvatelstva. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2002, částka 133.
- [3] ŠIMEK, Tomáš. Tísňové informování obyvatelstva. *The Science for Population Protection*. 2016, vol. 8, č. 2, s. 89-99. ISSN 1803-568X.
- [4] European Telecommunications Standards Institute [online]. Dostupné z: <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/digital-mobile-radio>
- [5] Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/POCSAG>
- [6] <https://cs.wikipedia.org/wiki/LTE>

-
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-Band_Excitation
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Radio_Mondiale
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation
- [10] KESL, Jan. *Elektronika I - analogová technika*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-143-8.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Speech_synthesis
- [12] AKSAMÍT, J. Metody subjektivního hodnocení kvality hovorových signálů [online]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2007030002>
- [13] NOVÁK, A. *Foniatric a pedoaudiologie II*. 2. přeprac. vyd. Praha: Unitisk, 2000.
- [14] https://cs.wikipedia.org/wiki/Komprese_dynamiky
- [15] ŠKVOR, Zdeněk. *Elektroakustika a akustika: vysokoškolská učebnice*. Praha: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05034-7.