



BEZPEČNOSŤ FOTOVOLTIKÝCH SYSTÉMOV A INŠTALÁCIÍ

JOZEF FIALA - MARCEL KURACINA - MAROŠ SOLDÁN

SAFETY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS AND INSTALLATIONS

ABSTRAKT

Stále viac sa dostávajú do popredia technológie na princípe fotovoltaického javu ktoré si získavajú svoje uplatnenie od malých aplikácií až po niekoľko km² veľké elektrárne. Nárast záujmu a inštalácií týchto technológií priniesol však aj množstvo technických, legislatívnych či finančných problémov aj v otázkach bezpečnosti ich prevádzky, údržby, zásahu záchranných zložiek a neposlednej rade recyklácie. Cieľom tohto príspevku je štúdium bezpečnostnej problematiky fotovoltaických systémov a posúdenia bezpečnosti na konkrétnej inštalácii. Zistilo sa niekoľko problematických článkov, ktoré môžu v budúcnosti spôsobiť poruchy, vrátane jedného článku, ktorý bol poškodený. Pôvodná inštalácia mala niekoľko nedostatkov týkajúcich sa statickej bezpečnosti ktoré boli ale nápravnými riešeniami dostatočne odstránené.

KLúčové slová: fotovoltaika, statická bezpečnosť, ochrana pred bleskom, požiarne bezpečnosť, údržba

ABSTRACT

The technologies based on photovoltaic effect, which achieve their fulfilment from small applications to some big power stations that can be in size of few square kilometers, still come to the fore more. The growth of the interest and installations of these technologies brought also amount of technical, legislative or financial problems and also in issues of safety of its operation, of its service, of intervention of rescue squad and last but not least of recycling. The aim of this paper is to study problems of safety of photovoltaic systems and safety assessment of the concrete installation. In the thesis there were founded out few problematic components which can cause in the future some failures and defects, including one component, which was damaged. Original installation had few imperfections dealing with the static security. However that imperfections were eliminated sufficiently by remedial measures.

Keywords: photovoltaic, static safety, lightning protection, fire safety, maintenance

ÚVOD

Najviac energie ľudstvo získava z neobnoviteľných zdrojov energie, ako sú napríklad ropa, uhlie, zemný plyn, urán a iné. Niektoré štúdie vedcov dokázali, že tieto zdroje ľudstvo vyčerpá v horizonte stoviek rokov. Je preto nutné sa týmto problémom zaoberať už teraz. Zatiaľ jedinou možnou alternatívou sú obnoviteľné zdroje energie. Obnoviteľné zdroje energie predstavujú v našich podmienkach rôzne podoby slnečného žiarenia. Energia vody, vetra, biomasy dokonca aj teplo vo vzduchu existujú iba vďaka tomu, že na Zem neustále dopadá nesmierne množstvo energie zo Slnka. Tejto energie je miliónkrát viac, než sme schopní spotrebovať. Definícia obnoviteľných zdrojov energie podľa Renewable Energy Working Party (REWP), ktorá pracuje v rámci Medzinárodnej energetickej agentúry (IEA): „Obnoviteľná energia je získavaná z prírodných procesov, ktoré sú neustále dopĺňané. V jej rôznych formách je čerpaná priamo alebo nepriamo zo slnka alebo z tepla generovaného hlboko vo vnútri Zeme“. Za obnoviteľný zdroj považujeme takú energiu, ktorú môžeme teoreticky čerpať ďalších tisíc až miliárd rokov. Jednou z týchto alternatív je i solárna (slnečná) energia. Túto energiu možno využiť priamo, a to napríklad k vykurovaniu alebo ohrevu vody pomocou solárnych kolektorov, alebo k výrobe elektrickej energie pomocou fotovoltaických (FV) panelov. Solárna energia sa radí medzi obnoviteľné zdroje energie, ktoré majú dostatočný potenciál dlhodobo pokrývať energetické potreby ľudstva. Množstvo inštalovaných FV systémov a ich rastúci trend však zvyšujú aj riziko možného poškodenia zdravia či majetku následkom ich zlyhania. Či už ide o malé systémy pre rodinné domy alebo veľké inštalácie na plochých strechách hangárov alebo priamo na pôde každá z týchto inštalácií predstavuje potenciálne riziko, ktoré síce nemá na spoločnosť ako celok veľký dopad, no pre jedinca a bezprostredné okolie môže mať fatálne finančné, materiálne škody a spôsobiť ujmu na zdraví. Preto je potrebné zaoberať sa viacerými pohľadmi na bezpečnosť týchto inštalácií a posúdenia ich bezpečnosti.

FOTOVOLTIKA

Slnečná energia je základnou podmienkou života na Zemi. Slnečné žiarenie je možné priamo využiť na výrobu tepla, chladu a elektriny. Nepriamo je možné slnečné žiarenie využiť prostredníctvom energie vodných tokov, vetra, morských vln, tepelnej energie prostredia a energie biomasy [1]. Fotovoltaika je súbor technológií, ktoré s využitím polovodičových materiálov premieňajú slnečné svetlo (fotóny) na elektrinu [2,3]. Proces energetickej premeny je priamy (bez medzistupňov) a neuvolňujú sa pri ňom žiadne emisie skleníkových plynov alebo častíc. Proces premeny svetla na elektrinu tzv. fotovoltaický jav objavil Alexander Bequerel v roku 1839. Tento jav umožňuje konštrukciu fotovoltaického článku. Ide v zásade o to, že na rozhraní dvoch materiálov, na ktoré dopadá svetlo, vzniká elektrické napätie a uzatvorením obvodu je možné získať elektrický prúd [4,5]. Z fotovoltaických článkov sa skladajú fotovoltaické panely. Každý fotovoltaický panel sa obyčajne skladá z 33 až 36 fotovoltaických článkov, ktoré sú zapuzdované do sústavy vrstiev uzatvorených sklom s malým obsahom železa [6]. Články sú sériovo-paralelne elektricky zapojené tak, aby bolo dosiahnuté potrebné napätie a prúd pre priame využitie generovanej elektrickej energie [1]. Pre využitie elektrickej energie zo solárnych panelov je potreba pripojiť k panelu okrem elektrických spotrebičov ďalšie technické prvky. Ktoré ďalšie komponenty musí určitý solárny systém obsahovať záleží na tom, k akému účelu ma slúžiť. Sem sa zaraďujú všetky zariadenia, ktoré sú k prevádzke systému



potrebné ako napr. akumulátorové batérie, regulátor nabíjania, napäťový striedač, indikačné, zobrazovacie, komunikačné a meracie prístroje, prípadne automatické sledovače Slnka. Množstvo a skladba jednotlivých prvkov fotovoltaického systému závisí na druhu aplikácie a na konkrétnom riešení fotovoltaického systému [7].

BEZPEČNOSŤ FOTOVOLTICKÝCH INŠTALÁCIÍ

Bezpečnosť fotovoltaických inštalácií sa stáva stále aktuálnejšou témou hlavne v zahraničí kde majú FV inštalácie viaceré zastúpenie ako u nás. Na tému bezpečnosti fotovoltaických inštalácií je potrebné sa pozrieť s viacerých uhlov pohľadu, a to hlavne na:

- Statické hľadisko – stabilita a odolnosť samotnej inštalácie ale aj v súvislosti so strechou na ktorej je inštalovaná.
- Požiaro-bezpečnostné hľadisko – vlastná bezpečnosť inštalácie, prípadné riziko zvýšenia požiarneho zaťaženia strechy, riziká vznikajúce pre zasahujúce bezpečnostné zložky.
- Investičné hľadisko – zameranie sa na bezpečnosť výnosu a návratnosti, prevádzková spoľahlivosť [8].

Statická bezpečnosť a mechanická odolnosť

Fotovoltaická inštalácia je pre súčasné konštrukcie prirážajúci prvok. Nové priráženie je tvorené hmotnosťou inštalovanej technológie, ku ktorej je treba často pripočítať pôsobenie zaťaženia vetrom a snehom. Hlavne v blízkosti okrajov strechy má na inštaláciu veľký vplyv prúdenie vetru, a to nie len smerom dovnútra (tlak), ale tak tiež od strešnej roviny (sanie). Nezanedbateľné je tak tiež riziko zmeny snehových pomerov na streche. Inštalácia môže viesť k tvorbe závejov. S ohľadom na komplikovanosť prípadnej opravy strechy v období životnosti fotovoltaickej elektrárne (FVE) je vhodné strešnú krytinu, či dokonca nosnú konštrukciu opraviť pred realizáciou elektrárne. Už pri plánovaní je treba podozriť vybrať použité komponenty a dbať na ich únosnosť, technické riešenie, kvalitu použitých materiálov a spracovanie s ohľadom na predpokladanú životnosť, miesto a spôsob inštalácie. Rám modulu najbežnejšej technológie založený na kremíkových článkoch je z pravidla tvorený hliníkovým profilom a má za úlohu chrániť a držať vlastný kompozit zo skla, článkov a krycej fólie. Tuhosť rámu je dôležitá ako pre ochranu pri doprave a inštalácii, tak z dôvodu inštalácie na strechu. Rám (rovnako ako celý modul, takže i FV inštalácie) musí odolať teplu, mrazu, vode, snehu, ľadu, vetru či iným náhodným zaťaženiam. To všetko musí zvládnuť po dobu minimálne dvadsiatich rokov životnosti v rôznych vzájomných kombináciách a cykloch [8].

Prevádzková bezpečnosť a údržba

Keď článok nepracuje alebo negeneruje elektrickú energiu kvôli tomu, že neprijíma slnečné žiarenie, môže byť opačne polarizovaný, to znamená, že sa bude chovať ako spotrebič a nie ako generátor, čo môže mať za následok vysoký rozptyl tepla. Toto môže byť zapríčinené chybnými prepojovacími spojmi ktoré potom spôsobujú veľký ohmický odpor alebo nedostatočnou ochranou voči vnikaniu vlhkosti a poškodené panely následne spotrebávajú elektrinu vyrobenú bezchybnými panelmi [9].

Ochrana pred úderom blesku a prepätím

Z princípu fotovoltaických (FV) elektrární vyplýva, že FV panely pre svoju funkciu a pre dosiahnutie čo najväčšieho výrobného výkonu musí byť inštalovaný v mieste s čo najdlhšou dobou slnečného svitu. Týmto miestami sú fasády a strechy objektov alebo rozsiahle plochy veľkých elektrární o výmere niekoľko stoviek štvorcových metrov. Takmer vždy ide o miesto, ktoré je ohrozené priamym úderom blesku, pretože zberná plocha pre určenie pravdepodobnosti úderu blesku, hlavne u veľkých elektrární s výkonom rádovo stoviek kilowattov, je skutočne veľká. Elektrárne sú najviac postavené v lokalite, v ktorých najbližšom okolí nie je žiadny vysoký objekt, ktorý by snáď mohol byť náhodným zachytávačom (výškové budovy, stromy apod.). Dôvodom je skutočnosť, že v včasných ranných a neskorých poobedných hodinách tieto objekty vytvárajú tieň. Situácia FV elektrární je z hľadiska ochrany pred bleskom skutočne nepriaznivá. Napríklad podľa zväzu nemeckých poisťovní tvoria škody spôsobené prepätím a bleskom až 45% z celkovej vyplácanej čiastky [10].

TERMOGRAFICKÁ KONTROLA FOTOVOLTICKÝCH PANELOV

Odhalit' a detekovať príčiny prehrievania sa, možného vzniku skratov a vyhnúť sa im môžeme pomocou pravidelnej údržby napríklad za využitia termokamery pre zobrazenie reálneho a termálneho snímku naraz. Termokamera bude zároveň zachycovať celkový radiometrický snímok tepelného žiarenia spolu so snímkom vo viditeľnom obore spektra, pričom bude prekrývať jeden obrazový bod druhým s rôznou mierou priehľadnosti. Takto získaný obraz ukáže povrchové teploty zobrazovaných objektov (v tomto prípade fotovoltaických panelov) s použitím farebnej palety, ktorú môže užívateľ zvoliť a ktorá reprezentuje rôzne teploty s použitím rôznych farieb spolu s obrazom vo viditeľnej oblasti spektra, čo zjednodušuje identifikáciu jednotlivých prvkov. Vďaka obrazu v infračervenom obore sme schopný vidieť, ako sa poškodené články prehrievajú. Najvhodnejšie podmienky pre detekciu tohto typu problému sú v dobe, keď má panel najväčší výkon, štandardne uprostred jasného dňa. Za týchto podmienok je možné detekovať články s teplotami dosahujúcimi až 111°C. Fotovoltaické panely je možné pomocou termokamery kontrolovať z prednej alebo zadnej strany. Druhý spôsob je zvlášť výhodný, pretože sa vyhneme problémom s odrazom slnečného žiarenia alebo odrazom kvôli emisivite (intenzite vyžarovania) spojenej s kryštalickým povrchom panelov. V každom prípade umožňuje termografia identifikovať panely s horúcimi a poškodenými bodmi rýchlejšie a bezdotykovo alebo z väčšej vzdialenosti. Jednoducho stačí nasnímať danú inštaláciu pomocou termokamery [11].

Ďalšími miestami, ktoré môžu byť kontrolované pomocou termokamery sú motory. Kvôli rôznym, ako sú poveternostné podmienky v okolí motoru, alebo kvôli ich nesprávnemu dimenzovaniu sa môžu tieto motory zahrievať do miery, keď je ich úžitková životnosť významne znížená. Také zahrievanie by mohlo spôsobiť mechanické problémy (problémy v ložiskách atď.) problémy s vetraním, medzerami vo vinutí atď. Podobne môžeme používať termokameru pre detekciu nadmerného zahrievania invertorov a stredne napäťových transformátorov. V stredne napäťových transformátoroch môžeme detekovať problémy so stredne a nízko napäťovými pripojeniami (Obrázok 20), ako aj problémy s vnútorným vinutím. Ďalším miestom, kde bude termografie veľmi užitočná pri vykonávaní preventívnej a prediktívnej údržby, sú spojovacie body, ktoré sa môžu časom uvoľňovať, čo môže viesť k prevádzkovým problémom a zbytočným poruchám obzvlášť, pokiaľ má fotovoltaická elektrárňa väčšie množstvo pripojení jednosmerného a striedavého prúdu a elektrické panely. S ohľadom na takúto situáciu je nutné si uvedomiť, že každé zlé spojenie vytvára miesto s väčším odporom; inými slovami miesto, kde je väčší tepelný rozptyl a prehrieva sa. [11]

METODIKA PRÁCE

V práci sa posudzovala fotovoltaická inštalácia nachádzajúca na streche budovy TL Materiálovotechnologickej fakulty Slovenskej technickej univerzity so sídlom v Trnave. Inštalácia sa skladá so štyroch polykrystalických panelov PM 125/24 V, jedného monokrystalického panelu SOLARTEC SG-170-5Z, troch multikryštalických kremíkových panelov SOLARTEC SG-215-6Z, jedného panelu SOLARTEC STR 36-50 vyrobeného z monokrystalického kremíku a jedného panelu AIT SG65 vyrobeného z polykrystalického kremíka. Intenzita slnečného žiarenia bola meraná snímačom intenzity globálneho žiarenia FLA 613 GS ktorý bol prepojený s meracou ústredňou ALMEMO 5690-1M.

Na samotnú kontrolu FV panelov sa použila termokamera Fluke Ti55FT IR FlexCam Thermal Imagers with IR-Fusion Technology.

Cieľom bolo posúdenie prevádzkovej bezpečnosti, vyhľadávanie chybných alebo poškodených článkov, ktoré sa prejavujú nežiaducim prehrievaním vplyvom zvýšeného ohmického odporu. Meranie prebiehalo 20.5.2014 v čase 10:00 až 12:00 pri

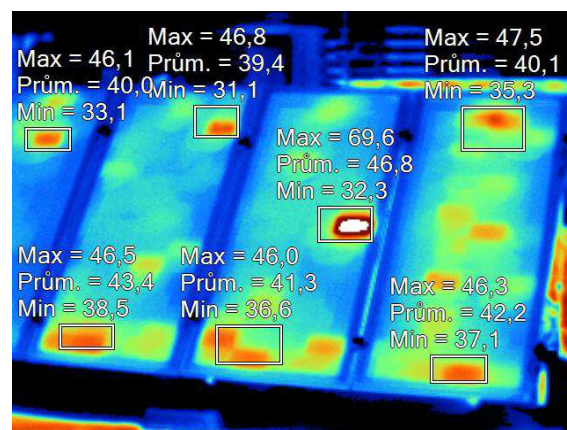
teplote okolitého vzduchu 20 °C a intenzite slnečného žiarenia 850 W.m⁻².

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Prevádzková bezpečnosť úzko súvisí s údržbou celého systému prevencie a včasného odhalenia problémov a porúch. Pri odhaľovaní nefunkčnosti článkov a ich porúch sa veľmi dobre osvedčila termokamera, keďže poškodené články sa často prejavujú prehrievaním. Takto poškodené články ovplyvňujú výkon celej inštalácie čo vyplýva z ich elektrického vzájomného zapojenia. Kontrolované a posudzované FV panely a ich označenie je zobrazené na Obr. 1.



Obr. 1 Kontrolované a posudzované FV panely a ich označenie



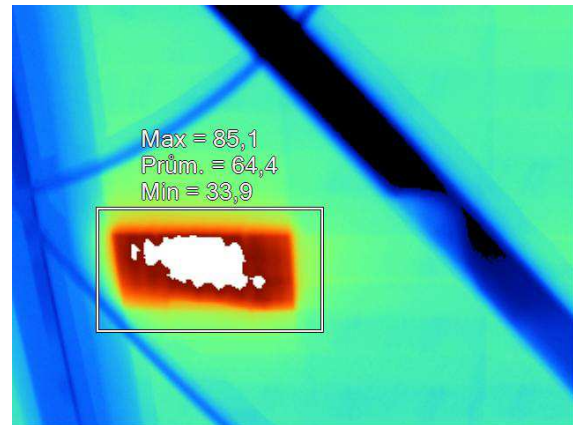
Obr. 2 Termografický snímok kontrolovaných FV panelov

Na Obr. 2 je znázornený termografický snímok kontrolovaných FV panelov. Z obrázku vyplýva, že boli na kontrolovanom FV systéme detekované prehrievané povrchy. Pri meraní panela Pv1 bolo zistené prehrievanie vo vrchnej časti. Pri týchto chybách sa nedá presne odhadnúť čo spôsobuje prehrievanie (viditeľné poškodenie článku, zašpinenie...). Články dosahujú teploty okolo 50 °C ktorá je zvýšená a časom môže spôsobiť poškodenie článku. Meranie na paneli Pv2 ukazuje v hornej časti panela teplú zónu, ktorá môže signalizovať do budúcnosti problémové miesto. V spodnej časti panela

sa nachádza takýto hot spot tiež. Najviac prehrievaným FV článkom na kontrolovanej inštalácii bol článok na paneli Pv3. Umiestnený bol približne v strede panela bližším preskúmaním sa zistilo aj jeho mechanické poškodenie (Obr. 3). Teplota tohto článku dosahovala až 85 °C (Obr. 4). Pri meraní panela Pv4 sa identifikovali články s mierne zvýšenou teplotou vo vrchnej časti a v strede panela sa nachádzala línia teplejších článkov.



Obr. 3 Kontrolovaný poškodený fotovoltaický článok



Obr. 4 Termografický snímok poškodeného fotovoltaického článku

ZÁVER

Prudký rozvoj fotovoltaických elektrární a aj menších fotovoltaických systémov v Slovenskej republike priniesol aj veľa problémov. Fotovoltaické systémy umožňujú priamu premenu slnečnej energie na energiu elektrickú. Základným prvkom umožňujúci túto premenu je solárny článok. Články sa spájajú v určitom počte do solárnych panelov. Solárne panely sú bezúdržbové. Každý článok v paneli by mal vyrábať rovnaké množstvo prúdu. Pri výrobnej chybe alebo pri zatienení článku môže dôjsť k jeho zahriatiu (aj nad 100 °C), zníži sa jeho životnosť a hrozí nebezpečenstvo požiaru.

Pre bezpečnú prevádzku fotovoltaických systémov je dôležité identifikovať chybné články a odhaliť chybné zapojenie v paneloch pri revíziách. Všetky tieto aspekty nám ukazujú, ako je termografia nevyhnutným nástrojom pri údržbe fotovoltaických inštalácií. Navyše je možné tento nástroj veľmi jednoducho používať, čo umožňuje jeho plnú integráciu do sady nástrojov používaných na údržbu (multimetre, kliešťové merače, merače izolácie, analyzéry kvality energie atď.) Pri skúškach termokamerou a odhaľovaní článkov, ktoré sa prehrievajú sa na konkrétnej inštalácii objavil článok, ktorý sa nadmerne prehrieval a bol aj viditeľne poškodený okrem toho sa našlo niekoľko článkov ktoré sa v porovnaní s ostatnými článkami prehrievali a mohli by v budúcnosti predstavovať možné riziká poruchy.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] BERANOVSKÝ, J., TRUXA, J., a kol. *Alternatívne energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2004. 126 s. ISBN 80-86517-59-4.
- [2] LUQUE, A., HEGEDUS, S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. John Wiley & Sons Ltd, 2003. ISBN 0-471-49196-9.
- [3] MURTINGER, K. a kol. *Fotovoltaika – elektřina ze slunce*. Brno : ERA,2007. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [4] HENZE, A.; HILLEBRAND, W. *Elektrický proud ze slunce*. Ostrava: HEL, 2000.136 s. ISBN 80-86167-12-7.
- [5] MURTINGER, K., TRUXA, J. *Solární energie pro váš dům*. Brno : ERA, 2006. ISBN 80-7366-076-8.
- [6] KLENOVČANOVÁ, A., IMRIŠ, I. *Zdroje a premeny energie*, Prešov: MANACON, 2006, ISBN 80-89040-29-2.
- [7] MESSENGER, R. VENTRE, J. *Photovoltaic Systems Engineering*. New York : CRC Press LLC, 2005. ISBN 0-8493-1793-2
- [8] CONERGY, Česká republika, *Bezpečnost' fotovoltaické instalace*. In Elektro, č. 4, 2011. [online].[cit. 13. 03. 2014].Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43305.pdf>
- [9] KUČERA, Z., POKORNÝ, V. Panely horia a padajú. *Alternatívne energie* 2010,roč.13 ,č. 3, s.18-21., ISSN 1801-4399.
- [10] ŠALANSKÝ, D.: Fotovoltaické elektrárny a ochrana před bleskem.[online]. [cit. 1. 3.2014.]. Dostupné na internete:



http://www.sunlux.cz/attachments/article/395/P%C5%99ep%C4%9B%C5%A5ov%C3%A9_ochrany_ve_fotovoltaic_e.pdf

[11] Fluke corporation, Údržba fotovoltackých elektrárň. IDB journal. 2013, roč. 3,č. 5,s. 46-47. ISSN 1338-3337.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: „Hybridný elektrický zdroj pre technicko-poradenské laboratórium využitia a propagácie obnoviteľných zdrojov energie“ (ITMS 26220220056), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

ADRESY AUTOROV:

Jozef FIALA, Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika, e-mail: >jozef.fiala@stuba.sk<

Marcel KURACINA, Ing., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika, e-mail: >marcel.kuracina@stuba.sk<

Maroš SOLDÁN, prof., Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika, e-mail: >maros.soldan@stuba.sk<

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.