

**NÁVRH PROCESU HODNOTENIA STATICKEJ ODOLNOSTI  
ELEKTROENERGETICKÝCH INFRAŠTRUKTÚRNYCH OBJEKTOV**

**DESIGN OF THE PROCESS OF EVALUATION OF STATIC RESILIENCE  
OF ELECTRICITY INFRASTRUCTURE OBJECTS**

**Ing. Nikola Chovančíková**

*Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva,  
Katedra technických vied a informatiky, Ul. 1 mája 32, 010 26 Žilina*

*Kontakt: [nikola.chovancikova@fbi.uniza.sk](mailto:nikola.chovancikova@fbi.uniza.sk)*

**ABSTRAKT**

Elektroenergetická infraštruktúra je významnou súčasťou národného hospodárstva každej krajiny. Takmer všetky technologické a ekonomické procesy prebiehajúce v krajine sú závislé od pravidelných dodávok elektrickej energie. Na území Slovenskej republiky je elektroenergetická infraštruktúra súčasťou kritickej infraštruktúry, ktorá je upravovaná zákonom č. 45/2011. V praxi to znamená, že elektroenergetická infraštruktúra obsahuje prvky, ktorých narušenie alebo zničenie by malo rozsiahle následky pre štát a život obyvateľov. Z hľadiska jej významnosti pre spoločnosť by sa mala pozornosť sústrediť na hodnotenie statickej odolnosti elektroenergetických infraštruktúrnych objektov. Publikácia prináša návrh prístupu k hodnoteniu statickej odolnosti, ktorý pozostáva z niekoľkých krokov. Navrhovaný prístup predstavuje účinný nástroj pre zistenie nedostatkov, ktoré môžu mať za následok narušenie fungovania objektu. Navrhovaný postup predstavuje pre Slovenskú republiku niečo unikátne, pretože na území Slovenska neexistuje žiaden všeobecný postup, ktorý by hodnotil statickú odolnosť objektov.

**Kľúčové slová:** elektroenergetická infraštruktúra, statická odolnosť, kritická infraštruktúra.

**ABSTRACT**

Electricity infrastructure is an important part of each country's national economy. Almost all technological and economic processes taking place in the country depend on regular electricity supplies. In the territory of the Slovak Republic, the electricity infrastructure is a part of the critical infrastructure, which is regulated by Act no. 45/2011. In practice, this means that the electricity infrastructure contains elements, the disruption or destruction of which would have far-reaching consequences for the state and the lives of the population. In view of its importance for society, attention should be focused on the assessment of the static resistance of electricity infrastructure facilities. The publication proposes an approach to the assessment of static resistance, which consists of several steps. The proposed approach is an effective tool for identifying deficiencies that may result in disruption of the object. The proposed procedure represents something unique for the Slovak Republic because there is no general procedure in Slovakia that would assess the static resistance of buildings.

**Key words:** electricity infrastructure, static resistance, critical infrastructure.

**ÚVOD**

Súčasnú 21. storočie je závislé od fungujúcej elektroenergetickej infraštruktúry, ktorá je kľúčovým prvkom pre život a fungovanie celej spoločnosti. Všetky činnosti sú dnes závislé od elektrickej energie, ktorá uspokojuje naše každodenné potreby. Bez fungujúcej

elektroenergetickej infraštruktúry by došlo k zlyhaniu iných infraštruktúr, ktoré sú závislé na dodávkach elektrickej energie. Zlyhanie elektroenergetickej infraštruktúry môže nastať vplyvom naturogénnych alebo antropogénnych hrozieb. Aby sa predišlo zlyhaniu významných objektov je potrebné sústrediť pozornosť na budovanie odolných systémov. Iba odolný systém dokáže zabezpečiť základné služby i v prípade pôsobenia hrozieb. Článok sústreďuje svoju pozornosť na riešenie problematiky statickej odolnosti. Cieľom článku je navrhnúť postup hodnotenia statickej odolnosti, ktorý by prispel k vybudovaniu odolných elektroenergetických systémov.

## 1. Elektroenergetická infraštruktúra

Infraštruktúra ako termín je používaná na charakteristiku vzájomne prepojených organizačných štruktúr, ktoré tvoria základ spoločnosti a umožňujú jej efektívne fungovanie. Vo fyzickom zmysle sa infraštruktúra všeobecne týka aktív potrebných na uľahčenie toku dodávok vyžadovaných spoločnosťou. Elektroenergetická infraštruktúra predstavuje technickú a organizačnú štruktúru, ktorá umožňuje prenos energie od výrobcu až k samotným spotrebiteľom a zastrešuje i samotné riadenia a údržbu energetického toku [1]. Elektroenergetickú infraštruktúru je možné definovať podľa zákona č. 251/2012 ako súbor výrobných, prenosných a distribučných prvkov, ktoré sú nevyhnutné pre dodávky elektrickej energie [1].

Elektroenergetická infraštruktúra na území Slovenska tvorí energetickú kostru celej krajiny. V súčasnosti elektroenergetická infraštruktúra zahŕňa 37 elektrární, z toho je v prevádzke 31 vodných, 2 atómové, 2 tepelné a 2 solárne elektrárne. Elektrárne na Slovensku majú celkový inštalovaný výkon 4 081 megawattov [3]. Najväčší podiel na výrobe elektrickej energie majú jadrové elektrárne 53,7%, na druhom mieste sa nachádzajú tepelné 21,7%, 16,1% produkuje vodná energia, 8,1% produkuje obnoviteľné zdroje [4]. Prenos a rozvod elektrickej energie z miesta výroby do miesta spotreby zabezpečuje elektrizačná sústava, ktorá sa skladá z prenosových a rozvodných sústav tzv. distribučných sústav.

Prenosová sústava je tvorená vedeniami vzájomne prepojenými trafostanicami, ktoré majú zabezpečiť čo najúčinnjší prenos elektrickej energie. Elektrizačná prenosová sústava na Slovensku je prevádzkovaná Slovenskou elektrizačnou prenosovou sústavou, a. s. (ďalej SEPS), ktorá zodpovedá za technický stav a chod celej prenosovej sústavy. Podľa aktuálnych informácií z roku 2019 je prevádzkovaných 25 elektrických staníc, z toho 19 bolo s napätovou úrovňou 400 kilovoltov (ďalej kV) a 6 s napätovou hodnotou 220 kV, ktoré tvoria uzly prenosovej sústavy. Prepojenie jednotlivých prvkov je zabezpečené približne 3 008 kilometrov (ďalej len km) dlhým vedením [4]. Primárnymi komponentmi prenosovej sústavy sú: transformátory, stožiare pre vedenie káblov, vodiče, kompenzačné prvky, ovládacie a ochranné prvky [5].

Distribúcia elektrickej energie je poslednou fázou dodávky elektrickej energie. Prenáša elektrinu z prenosovej sústavy k jednotlivým spotrebiteľom. Distribučnou sústavou sa na základe „Zákona č. 251/2012 o energetike“ považuje „vzájomne prepojené elektrické vedenia veľmi vysokého napätia do 110 kV vrátane a vysokého napätia alebo nízkeho napätia a elektroenergetické zariadenia potrebné na distribúciu elektriny na časti vymedzeného územia“ [2]. Zákon o energetike rozlišuje dva druhy distribučnej sústavy – regionálnu a miestnu. Rozdiel medzi regionálnou a miestnou distribučnou sústavou spočíva v počte pripojených odberateľov.

K miestnej distribučnej sústave je pripojených najviac 100 000 odberateľov, zatiaľ čo k regionálnej sústave je pripojených viac ako 100 000 odberateľov. Zákon ustanovuje i prevádzkovateľa. Na území SR pôsobia traja prevádzkovatelia: Západoslovenská distribučná a.s., Stredoslovenská energetika – Distribúcia, a. s. a Východoslovenská distribučná a. s. Spomenuté spoločnosti dohľadajú na kvalitné poskytovanie služieb spojených s distribúciou elektrickej energie [6].

## **2. Bezpečnostné hrozby pre elektroenergetickú infraštruktúru**

Elektroenergetická infraštruktúra predstavuje veľmi zložitý systém, ktorý môže byť ohrozený rôznymi nežiadúcimi udalosťami naturogénneho alebo atropogénneho charakteru. Nežiaduce udalosti môžu spôsobiť zlyhanie niektorých častí elektroenergetickej infraštruktúry, ktoré môžu byť výrazné následky pre fungovanie spoločnosti. Nasledujúca časť kapitoly bude slúžiť na priblíženie hrozieb, ktoré ovplyvnili fungovanie elektroenergetickej infraštruktúry.

V pondelok 15. februára 2021 bol Texas zasiahnutý ľadovou búrkou, ktorá spôsobila rozsiahle výpadky elektriky a zrušené lety. Ľadová búrka vyradila polovicu výrobnnej kapacity veternej energie v Texase, pretože mrazy spôsobili hlboké zmrznutie veterných turbín. Tri milióny odberateľov sa ocitli bez elektrickej energie [7].

Novozélandská búrka s následnou povodňou v roku 2017 spôsobila výpadky prúdu a smrť niektorých z obyvateľov. Búrky spôsobili prerušenie dodávky elektrickej energie bolo zasiahnutých viac ako 10 000 odberateľov [8].

Problém s blackoutom malo Taliansko, kde výpadok elektrickej energie v roku 2003, ovplyvnil celý taliansky polostrov na 12 hodín a časť Švajčiarska na približne 3 hodiny. Jednalo sa o najväčší výpadok. Prerušenie dodávok elektriny bolo zapríčinené búrkami, ktoré poškodili vedenie zo Švajčiarska do Talianska a ďalšou príťažou v situácii Talianska bolo prerušenie dodávok medzi Francúzskom a Talianskom z dôvodu náhleho nárastu dopytu. Spúšťačom talianskeho blackoutu bolo nedostatočné orezanie kríkov a stromov pod vysokonapäťovými vedeniami. Výpadok elektriny spôsobil, že niekoľko stoviek ľudí bolo uväznených vo vlakoch metra. Všetky lety boli zrušené [9].

Analýza udalostí, ktoré sa odohrali vo svete a spôsobili narušenie fungovania elektroenergetickej infraštruktúry poukazujú na dôležitosť riešenia problematiky statickej odolnosti. Nasledujúca časť publikácia bude venovaná priblíženiu prístupov k hodnoteniu statickej odolnosti.

## **3. Hodnotenie statickej odolnosti**

Aktívne riešenie problematiky statickej odolnosti si vyžaduje preskúmanie viacerých odborných a vedeckých informačných zdrojov, ktoré dokážu poskytnúť kvalitný poklad pre rozvoj statickej odolnosti. Problematike statickej odolnosti sa venovali viacerí odborníci vo svete. Vykonaná analýza informačných zdrojov bude tvoriť nosný pilier pre návrh prístupu k hodnoteniu statickej odolnosti.

Autori článku „*A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures*“ upriamili pozornosť na riešenie problematiky týkajúcej sa hodnotenia odolnosti vzájomne závislých infraštruktúr. Autori vyzdvihujú vo svojom príspevku dôležitosť porozumenia odolnosti systému a identifikujú spôsoby akými je možné prispieť k zvýšeniu odolnosti. V článku je navrhovaná kvantitatívna metóda na hodnotenie odolnosti systému.

Metóda je zložená z dvoch komponentov, a to: integrovanej metriky pre kvantifikáciu odolnosti systému a prístupu hybridného modelovania pre reprezentáciu poruchového správania infraštruktúrnych systémov. Výsledky výskumu poukazujú na efektívnosť metódy pri navrhovaní, a zlepšovaní odolnosti infraštruktúr [10].

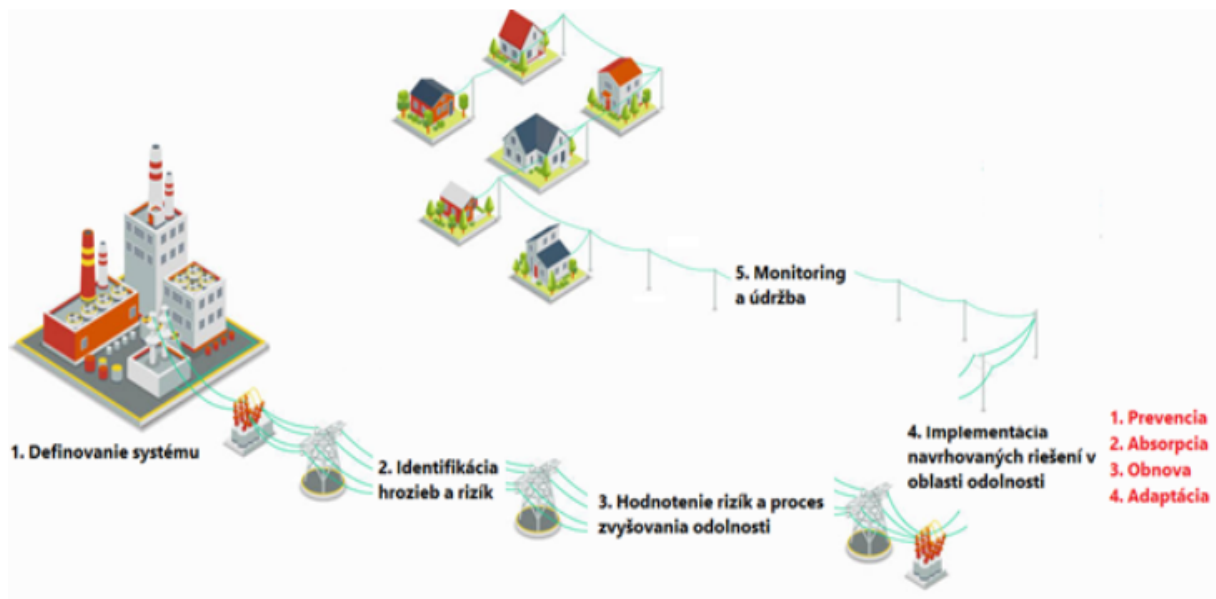
Pri riešení problematiky statického hodnotenia odolnosti je potrebné priblížiť i „*Resilience measurement index: an indicator of critical infrastructure resilience*“ (ďalej RMI), ktorá bola vytvorená v národnom laboratóriu v Argonne skupinou autorov. Pri navrhovaní RMI sa vychádzalo zo súčasných potrieb spoločnosti Spojených štátov amerických (ďalej USA). Autori tvrdia, že na zlepšenie celkovej odolnosti národného hospodárstva je potrebný komplexnejší prístup, ktorý by zastrešoval viacero oblastí. Autori vnímali potrebu vytvorenia metodiky, ktorá kladie dôraz nielen na ochranu, ale aj na pripravenosť, zmiernenie dopadov, reakcie a obnovu. RMI bola navrhnutá tak aby dokázala zachytávať základné aspekty odolnosti so zreteľom na všetky riziká. Hlavným cieľom RMI je merať schopnosť kritickej infraštruktúry znižovať rozsah a/alebo trvanie vplyvov nežiadúcich udalostí [11].

„*Guidelines for critical infrastructures resilience evaluation*“ predstavuje súbor usmernení, ktoré majú poskytnúť odborníkom z praxe spôsob akým môžu hodnotiť odolnosť všetkých kritických infraštruktúr. Dokument predstavuje všeobecný spôsob hodnotenia statickej odolnosti aplikovateľný vo všetkých infraštruktúrach. Hodnotenie statickej odolnosti je zložené z navrhovaných indikátorov, ktoré dokážu komplexne pokryť hodnotenú oblasť. Indikátory v rámci usmernení boli navrhnuté pre jednotlivé oblasti odolnosti, a to napr.: logickej, fyzickej a personálnej. Aplikáciou a následným vyhodnotením indikátorov sa dokáže hodnotiteľ dostať ku komplexnému vyhodnoteniu úrovne odolnosti prvku kritickej infraštruktúry [12].

„Na území Českej republiky vznikla Metodika hodnotenia resiliencie prvkov kritickej infraštruktúry (ďalej CIERA), ktorá bola vpracovaná za podpory grantovaného projektu VI20152019049 „RESILIENCE 2015: Dynamické hodnotenie odolnosti súvzťažných subsystémov kritickej infraštruktúry“ podporovaného Ministerstvom vnútra Českej republiky v rokoch 2015-2019. Metodika CIERA predstavuje nástroj, ktorý umožní prevádzkovateľom prvkov kritickej infraštruktúry vyhodnotiť úroveň statickej odolnosti prostredníctvom navrhovaného algoritmu. Metodiku je možné aplikovať vo viacerých odvetviach, otestovaná bola v sektoroch energetiky, dopravy a informačné a komunikačné systémy. Uvedená metodika je univerzálnym nástrojom k hodnoteniu odolnosti, ktorá dokáže hodnotiť odolnosť kritickej infraštruktúry ako celku a umožňuje i porovnávanie odolnosti medzi rôznymi subsystémami kritickej infraštruktúry [13].

#### **4. Návrh prístupu hodnotenia statickej odolnosti**

Analýza vykonaná v predchádzajúcej časti sa stala podkladom pre vytvorenie návrhu hodnotenia statickej odolnosti elektroenergetických infraštruktúrnych objektov. Navrhovaný prístup je možné aplikovať i na ostatné infraštruktúry. Prístup predstavuje komplexný nástroj pre vyhodnotenie statickej odolnosti. Celý proces hodnotenia statickej odolnosti je zobrazený na obr. 1.



Obr. 1 Zobrazenie procesu hodnotenia statickej odolnosti upravené podľa [14]

Navrhovaný prístup k hodnoteniu statickej odolnosti je stanovený v piatich základných krokoch, ktorých cieľom je zvýšenie odolnosti elektroenergetických infraštruktúrnych objektov.

#### A. „Definovanie systému“

Definovanie systému spočíva v podrobnej charakteristike hodnoteného systému. Ak sa pozornosť zameria na elektroenergetickú infraštruktúru súčasťou tohto kroku môže byť charakteristika napr. prenosovej a distribučnej sústavy. Následne sa vykoná podrobná charakteristika primárnych komponentov, na ktoré bude nadväzovať ďalšia časť rámca.

#### B. „Identifikácia hrozieb a rizík“

Druhý krok spočíva v identifikovaní rizík a hrozieb, ktoré môžu ohroziť fungovanie komponentov definovaného systému. Súčasťou kroku dva je i identifikácia zraniteľných miest, na ktoré by sa mala primárne sústrediť pozornosť. Identifikácia rizík a hrozieb môže byť vykonaná prostredníctvom vytvorenia knižnice, ktorá bude obsahovať zdroje hrozieb a rizík, ktoré môžu pôsobiť na hodnotený objekt.

#### C. „Hodnotenie rizík a proces zvyšovania odolnosti“

Tretí krok sa zameriava na hodnotenie identifikovaného rizika z predchádzajúcej fázy a procesu zvyšovania odolnosti. Hodnotenie rizika je vykonané podľa normy ISO 31 0000, ktorá predstavuje efektívny nástroj využívaný v rôznych krajinách. Následne sa vykoná návrh riešení, ktoré by smerovali k zvýšeniu odolnosti najviac ohrozených častí objektu.

#### D. „Implementácia navrhovaných riešení v oblasti odolnosti“

Štvrtý krok zahŕňa implementáciu navrhovaných riešení pri zvyšovaní úrovne odolnosti. Súčasťou tohto kroku je zameranie pozornosti na „prevenciu, absorpciu, obnovu a adaptáciu“, ktoré podľa metodiky CIERA vytvorenej v Českej republike tvoria cyklus odolnosti kritickej infraštruktúry. V rámci týchto častí cyklu by boli prijaté navrhované riešenia smerujúce k zvýšeniu odolnosti definovaného systému.

#### E. „Monitoring a údržba“

Posledný krok zahŕňa pravidelné monitorovanie systému a vykonávanie údržby. Aplikáciou krokov zobrazených na obr. 1 je možné zabezpečiť zvýšenie úrovne odolnosti elektroenergetickej infraštruktúry.

## 5. Záver

Elektroenergetická infraštruktúra je veľmi zložitá a tvorená z mnohých prvkov, ktoré sú medzi sebou poprepájané vzájomnými väzbami. Ako bolo uvedené na začiatku článku

fungujúca elektroenergetická infraštruktúra je nevyhnutnosťou pre fungovanie každého štátu. Pre zabezpečenie fungovania prvkov by sa mala pozornosť sústrediť práve na riešenie problematiky statickej odolnosti. Zvýšením odolnosti dokážeme zabezpečiť fungovanie prvkov i v prípade pôsobenia nežiadúcej udalosti. Objekt s vysokou úrovňou odolnosti dokáže poskytovať svoje základné funkcie i v prípade pôsobenia nežiadúcej udalosti. Navrhovaný prístup k hodnoteniu statickej odolnosti predstavuje efektívny spôsob hodnotenia statickej odolnosti so zameraním na päť oblastí, ktoré boli v rámci publikácie zobrazené. Navrhovaný prístup k hodnoteniu statickej odolnosti je možné považovať za unikátny, pretože v podmienkach Slovenskej republiky ešte doteraz nebola venovaná pozornosť hodnoteniu statickej odolnosti.

## 6. Zoznam použitej literatúry

- [1] *Energy infrastructure* [online]. Designing Buildings Wiki. Available from: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Energy\\_infrastructure](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Energy_infrastructure)
- [2] *Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov*
- [3] *Typy elektrární* [online]. Slovenské elektrárne. Dostupné z: <https://www.seas.sk/typy-elektrarni>
- [4] *Individuálna a konsolidovaná výročná správa* [online]. Slovenská elektrizačná prenosová sústava. Dostupné z: <https://www.sepsas.sk/Dokumenty/VyroczneSpravy/2020/SEPS-VS2019.pdf>
- [5] *Elektroenergetika-dodávka energie* [online]. Moja energie. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/elektroenergetika-dodavka-energie>
- [6] ŠIMON, P., 2014. Distribučná sústava [online]. Dostupné z: <https://www.energiaweb.sk/2014/08/12/distribucna-sustava/>
- [7] *Disaster declared in Texas as rare winter storm causes widespread power cuts, cancelled flight and temperatures to plummet to -5C* [online]. Sky news. Available from: <https://news.sky.com/story/disaster-declared-in-texas-as-rare-winter-storm-causes-widespread-power-cuts-cancelled-flights-and-temperatures-to-plummet-to-5c-12218691>
- [8] *New Zealand storm causes power cuts, floods in India kill 40* [online]. CyprusMail. Available from: <https://cyprus-mail.com/2017/07/13/new-zealand-storm-causes-power-cuts-flight-road-disruptions/>
- [9] *Final report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy* [online]. UCTE Report – April 2004. Available from: [https://www.entsoe.eu/fileadmin/user\\_upload/\\_library/publications/ce/otherreports/20040427\\_UCTE\\_IC\\_Final\\_report.pdf](https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/_library/publications/ce/otherreports/20040427_UCTE_IC_Final_report.pdf)
- [10] NAN, C. and SANŠAVINI, G., 2017. A quantitative method for assessing resilience of interdependent infrastructures. *Reliability Engineering and System Safety*, 157, 35-53, ISSN 0951-8320. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095183201630374X>
- [11] PETIT, F.D. et al., 2013. *Resilience Measurement Index: An Indicator of Critical Infrastructure Resilience* [online]. Argonne National Laboratory. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/299528136\\_Resilience\\_Measurement\\_Index\\_An\\_Indicator\\_of\\_Critical\\_Infrastructure\\_Resilience](https://www.researchgate.net/publication/299528136_Resilience_Measurement_Index_An_Indicator_of_Critical_Infrastructure_Resilience)
- [12] BOLOGNA, S. and CARDUCCI, G., 2016. Guidelines for critical infrastructures resilience evaluation [online]. Published by AIIC, Italy. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/305849174\\_Guidelines\\_for\\_Critical\\_Infrastructures\\_Resilience\\_Evaluation](https://www.researchgate.net/publication/305849174_Guidelines_for_Critical_Infrastructures_Resilience_Evaluation)

- [13] Resilience2015 [online]. Ministry of the Interior of the CR, Security Research Czech Republic VI20152019049. Available from: <http://www.resilience2015.cz/index.php/en/>
- [14] PHILIPS, J. et al. 2016. State energy resilience framework [online]. Publisher: Argonne National Laboratory, United States. Available from: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/State%20Energy%20Resilience%20Framework.pdf>