



ÚTMUTATÓ

A TRL SZINT AZONOSÍTÁSÁRA

I. Bevezetés

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott pályázati kiírások bemeneti követelményeinek teljesítése, a pályázati kiírásokon való sikeres részvétel és a projekt reális összköltségének megítélése érdekében fontos, hogy a támogatást igénylőnek (pályázónak) világos tudása és képe legyen a benyújtott projekt műszaki érettségéről. Ennek megállapítására általánosan elfogadott a technológiai készenléti szint (TRL) keretrendszer használata.

A TRL keretrendszert a NASA az 1970-es években vezette be, hogy felmérje, feltörekvő technológiája készen áll-e az űrkutatásra. Az 1-től 9-ig terjedő skálát később általánosan alkalmazták a különböző iparági területeken. A 9. szint az alkalmazáskész, kipróbált legfejlettebb technológiának felel meg. Napjainkban számos jelentős innovációs finanszírozási program a technológiai készenléti szint keretrendszerét használja; ide tartoznak az Innovate UK és a Horizon Europe is. A pályázati kiírások gyakran a TRL szintre hivatkoznak.¹ Például az EIC Transition pályázat a TRL 4-5/6 kezdeti szintről induló projekteket támogatja², az EIC Accelerator pedig vegyes finanszírozást nyújt, amely beruházási és támogatási összetevőket is tartalmaz, hogy a TRL 5-8-ról való előrehaladást támogassa.

Az alábbi besorolás segítséget kíván nyújtani a támogatást igénylőnek (pályázónak) a TRL szint minél pontosabb azonosításához. Arra szolgál, hogy a javaslattevő több szempont szerint felmérhesse, hogy meddig jutott el a fejlesztésben³. Másfelől, a TRL szintek táblázatba foglalt részletes lebontása a projekt értékelőinek és nyomkövetési szakértőinek is útmutatóul szolgál az értékelés és ellenőrzés szakaszaiban.

Az itt ismertetett struktúra egy konkrét, sikeres szabadalmazást és piaci bevezetést megvalósító műszaki megoldás kidolgozásának TRL-lépéseit illusztrálja.

További besorolást segítő leírás és példák találhatóak:

<https://horizoneuropencpportal.eu/store/trl-assessment>

<https://horizoneuropencpportal.eu/sites/default/files/2022-12/trl-assessment-tool-guide-final.pdf>

¹ RedNight Grants and Funding Specialists (2021). "How does the Technology Readiness Level (TRL) framework apply to grant funding?" (Hogyan vonatkozik a technológiai felkészültségi szint (TRL) keretrendszer a támogatási finanszírozásra?) Elérhető: <https://redknightconsultancy.co.uk/2021/07/21/grant-funding-and-the-trl-framework/> (Utolsó megtekintés: 2023. július 4.)

² EIC Transition. Mature a novel technology and develop a business case to bring it to market. (EIC átállás Fejlesszen ki egy új technológiát, és dolgozzon ki egy üzleti case-t, hogy a piacra vigye). https://eic.ec.europa.eu/eic-funding-opportunities/eic-transition_en (Utolsó megtekintés: 2023. július 4.)

³ EIC Accelerator. Elérhető: https://eic.ec.europa.eu/eic-funding-opportunities/eic-accelerator_en (Utolsó megtekintés: 2023. július 3.)



II. A TRL szintek és leírásuk

TRL szint	Leírás
1.	Az ötlet, elv megléte, az alapkutatás megkezdése
1.1.	Az alapelvek megfigyelése, az anyagok vagy folyamatok mélyreható megértése.
1.2.	<u>Az 1. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> lektorált folyóiratokban megjelent közlemények a javasolt elvről vagy alkalmazásról.
2.	Megalapozó kutatás elvégzése folyamatban van
2.1.	A gyakorlati alkalmazások kezdeti azonosítása. Az anyagok/folyamatok technológiai megfelelőségének igazolása.
2.2.	Ebben a szakaszban az alkalmazások még spekulatív jellegűek, elemző tanulmányokra korlátozódnak. Az elv alátámasztására alkalmasak a publikációk és más referenciák.
2.3.	A munka legjava elemző jellegű, avagy a szakirodalom tanulmányozása révén a tudományos vonatkozások jobb megértését célozza.
2.4.	A TRL1 és a TRL2 szinten megvalósul a kísérleti fejlesztési szakaszok konceptualizálása.
2.5.	<u>A 2. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> az alkalmazás/ működési elv dokumentált leírása, ami felméri a megoldás megvalósíthatóságát és előnyeit.
3.	A technológia kialakítása, a működési elv bizonyítása
3.1.	Megkezdődik az alkalmazott kutatást megalapozó szakasz, és beindul a korai fejlesztés. Tanulmányok és/vagy laboratóriumi mérések és/vagy modellezések a különböző összetevőkre vonatkozó előrejelzéseket hivatottak igazolni.
3.2.	Analitikai és laboratóriumi vizsgálat a technológia különböző összetevőkre vonatkozó előrejelzések bizonyítására. Laboratóriumi tesztek és/vagy modellezések elvégzése a kritikus paraméterek mérésére.
3.3.	A technológia különböző összetevői validáltak, de nem feltétlenül fogják a teljes rendszer részét képezni. Modellezés és szimuláció szükséges lehet a fizikai kísérletek kiegészítésére. A TRL 3 szinten kialakításra kerül és részben megkezdődik a kísérleti fejlesztési szakaszok mérési eljárása.
3.4.	<u>A 3. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált analitikai/kísérleti eredmények, amelyek alátámasztják a kulcs-paraméterekre vonatkozó előrejelzéseket.
4.	Az alfa prototípus laboratóriumi tesztelése, az összetevők és az eljárások validálása
4.1.	Az alfa prototípus összetevőinek validálása folyamatban van: a komponensek tervezése, fejlesztése és laboratóriumi tesztelése, és/vagy az eljárások laboratóriumi tesztelése.



4.2.	Az eredmények alátámasztják, hogy a mind a projekt célkitűzése, mind a teljesítménymutatók megvalósíthatók a tervezett vagy modellezett rendszerrel/eljárással. ⁴
4.3.	A fő komponensek összeszerelésével az együttes működőképességüket igazolják.
4.4.	A TRL 4-6 átmenetet képez a tudományos kutatástól a mérnöki megvalósítás felé, hidat ver a fejlesztés és a demonstráció között.
4.5.	<u>A 4. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált tesztelési teljesítmény, ami alátámasztja az analitikai előrejelzéseket. A releváns működési környezet dokumentált meghatározása.
5.	Kis skálán működő prototípus, az integrált vagy félig integrált rendszer laboratóriumi tesztelése
5.1.	Folyamatban van a rendszer összetevőinek és/vagy az eljárások validálása, releváns környezetben.
5.2.	A fő komponensek már integráltak a rendszerben/eljárásban, amelynek konfigurációja már azonos a végső rendszerével/eljárással.
5.3.	A prototípuson végzett mérések összehasonlítása a laboratóriumi méretben történt előzetes bevizsgálással.
5.4.	A tudományos kockázat megszűnik a TRL 5 szakasz végére. Az eredményeknek statisztikai szempontból relevánsaknak kell lenniük. A TRL 4 és TRL 5 közötti fő különbség, hogy a rendszer/eljárás valóságosabb az alkalmazás szempontjából és a környezet is közelebb áll a valós működési környezethez.
5.5.	<u>Az 5. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált tesztelési teljesítmény, ami alátámasztja az analitikai előrejelzéseket. A skálázási követelmények dokumentált meghatározása.
6.	Nagy skálájú prototípus elkészítése, tesztelése és hitelesítése. A TRL 6 jelenti a mérnöki fejlesztés kezdetét.
6.1.	A béta prototípus elkészült; megvalósul a rendszer/eljárás bizonyítása működési környezetben. A prototípus a végső rendszer/eljárás összes feladatát el kell végezze, és ez lehetővé teszi a költségmodell finomítását.
6.2.	Mérnökségi léptékű prototípus tesztelése releváns működési környezetben. Ez jelentős lépés a technológiai érettség bizonyításához. Egybe kell vetni a nagy skálájú prototípus és a kis skálán működő prototípus működését, és abból előrevetíteni a működő rendszer/eljárás várható működését.
6.3.	A TRL 5 és TRL 6 szintek közötti fő különbség, hogy a laboratóriumi szintről a mérnökségi szintre emeli a projektet, és lehetővé teszi a méretnövelési tényezők meghatározását, amelyek által a végleges rendszer/eljárás megtervezhető.
6.4.	<u>A 6. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált nagy skálájú tesztelési teljesítmény, ami alátámasztja az analitikai előrejelzéseket.

⁴ https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/basic_pages/documents/TRL%20Explanations_1.pdf (Utolsó megtekintés: 2023. július 3.)



7.	Integrált prototípus rendszer/eljárás megléte, tesztelése és hitelesítése
7.1.	Rendszer/eljárás bizonyítása működési környezetben, integrált pilot rendszer szinten. Ez jelentős előrelépést jelent a TRL 6 szinthez képest. A rendszer végső dizájnya csaknem végleges.
7.2.	E szakasz célja a mérnökségi kockázat kiküszöbölése. Fontos a méretezés követése, mivel az számos mérnöki és gyártási nehézséget mutathat ki a TRL6 és TRL 7 közötti átmenet során.
7.3.	<u>A 7. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált és hitelesített rendszer szintű tesztelési teljesítmény, ami alátámasztja az analitikai előrejelzéseket.
8.	Kereskedelmi környezetbe ágyazott demonstrációs rendszer felállítása és működtetése
8.1.	Kialakított rendszer/eljárás bizonyítása teszt és demonstráció révén (kereskedelmi bevezetés előtti demonstráció).
8.2.	A végső formájában és az elvárt körülmények között a technológia bizonyítottan működőképes. Ez a szakasz jelenti a rendszerfejlesztés befejezését.
8.3.	Meghatározhatók a valós gyártási költségek. A modell utolsó finomításai számba vehetők.
8.4.	<u>A 8. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> dokumentált tesztelési teljesítmény, ami hitelesíti az analitikai előrejelzéseket, valamint alkalmas az üzemgazdasági költséganalízisre.
9.	Igazolt rendszer/eljárás, ami alkalmas teljes kereskedelmi bevetésre
9.1.	Az elkészült rendszert/eljárást sikeres működéssel történő bizonyítása, rendeltetés szerinti működési környezetben
9.2.	Megvalósult a technológia végleges formája és helytáll a működési paraméterek teljes skálájában.
9.3.	A hangsúly a statisztikai folyamatszabályozásra tevődik át.
9.4.	<u>A 9. szint megvalósítását bizonyító dokumentumok:</u> a meghatározott cél és feladatok szerinti működés dokumentált eredményei. Az elkészült rendszer/eljárás felhasználók általi rendeltetés szerinti bevezetése, folyamatos működtetése/gyártása az előírt költségkeret betartásával, a várt határfok és kimeneti cél szerint.

III. A TRL szintek szemléltetése példán keresztül: Tartalékelem fejlesztése a Marylandi Egyetemen

Az egymást követő TRL szintek elérésének szemléltetésére konkrét példát szolgáltatunk a pályázóknak. Úgy véljük, a projekt előrehaladásának ismertetése jobban megragadhatóvá teszi a TRL szint minél pontosabb azonosításának pályázati elvárását.

Az alábbiakban leírt projekt a University of Maryland (College Park, Maryland) spin-off vállalkozásának tartalékelem fejlesztésére vonatkozik. A tartalékelem hosszú távú energiátárolásra alkalmas azért, hogy a cella aktív vegyi anyagai elkülönítettek, így önkisülés gyakorlatilag nem megy végbe. Szükség esetén a tartalékelem a másodperc töredéke alatt aktiválható, hogy az elektromos fogyasztókat táplálja.

TRL 1: Az ötlet, elv megléte, az alap kutatás megkezdése

A galvánelemek katódjában hagyományosan használt mangándioxid ruténiumdioxiddal (RuO_2) lehet helyettesíthető. Mivel a RuO_2 jóval drágább, a projektgazdák olyan módszert dolgoztak ki, amellyel az aktív anyag igen vékony rétegben felvihető egy olcsó anyagból készült elektromos vezető felületre, ami költséghatékony megoldást biztosíthat.

A kezdeti célkitűzés nem jelölte meg az elektrokémiai energiátárolás eszközeit, ami egyaránt lehetett galvánelem vagy szuperkondenzátor. Az alapelveket tömény kénsav-alapú elektrolit oldatban figyelték meg, hagyományos elektrokémiai módszerekkel. Az eredményeket előzetes közleményben közzétették: Peckerar, M. et al. (2006). "An Electrochemical Cell with Capacitance-Enhanced Double Layer," Proceedings of the 210th ECS Meeting, Oct. 29-Nov. 3, 2006, Cancun, Mexico, Volume 3, Issue 36, pp. 77-85.

TRL 2: Megalapozó kutatás folyamatban van: működési elv dokumentált leírása megtörténik⁵

A működési elvet bizonyító laboratóriumi kísérleteket 1 mL térfogatú UV kvarc küvetákban végezték, RuO_2 -alapú katóddal és cink fólia anóddal. A rendkívül korrozív kénsav helyett, több semleges kémhatású elektrolit oldatot kipróbáltak, amelyek biztosították a miniatűr galvánelem hosszabb távú folyamatos működését.

⁵ A példában már fizikai kísérletekkel történt a megalapozás, de ebben a szakaszban szimuláció, modellezés is bevett módszer.

Az eredmények dokumentált leírása lehetővé tette pályázat benyújtását az amerikai haditengerészetnek (U.S. Navy).

TRL 3: A technológia kialakítása

Releváns mérések és analitikai eredmények gyűjtésére a projektgazdák elvégezték az első méretnövelést: 50 mL-es majd 100 mL-es térfogatban dolgoztak, ami a TRL-2 szinthez képest két nagyságrenddel nagyobb. Ebben a szakaszban validálták a rendszer összetevőit, az elektródok anyagát és a felhasználható elektrolit oldatok hozzávetőleges összetételét. Több, az elektrolit oldat áramlását biztosító mikrópumpát is kipróbáltak.

A működési paraméterek kísérleti mérése és azok dokumentált leírása révén megkapták a haditengerészet első szakaszban (Phase I) nyújtott pályázati forrását.

TRL 4: Az alfa prototípus laboratóriumi tesztelése

Az előző érettségi szinthez képest itt fontos szerepet kapott az elektródok tartóelemeinek tervezése, minthogy azok anyaga és geometriája egyaránt befolyásolja a működés hosszútávú hatékonyságát. A különböző alakú prototípusokat CAD tervezéssel, 3D nyomtatással valósították meg. Így akár heti gyakorisággal lehetett új rendszert kipróbálni, annak működési hatékonyságát felmérni, illetve a jelentkező elégtelenségek és hibák kiküszöbölésével nagyon gyors fejlesztést végezni. Ekkor tisztázódott, hogy a RuO₂-alapú elektród nem szuperkondenzátor, hanem galvánelem építésére alkalmas.

A projektgazdák szabadalmi bejelentést tettek, a dokumentált eredmények pedig meghozták a U.S. Navy további támogatását (Phase II).

A tudományos eredmények két Q1 lapban közzétett szakközleményt eredményeztek: (1) Peckerar, M. et al. (2011). "Fabrication of Flexible Ultracapacitor/Galvanic Cell Hybrids Using Advanced Nanoparticle Coating Technology," Vacuum Science Technology B, 29 (1), Article Number 011008; (2) Peckerar, M. et al. (2011). "Supercapacitor/Battery Hybrids for Energy Harvesting Applications," ECS Transactions, 41 (8), 31-35.

TRL 5: Kis skálán működő prototípus és integrált rendszer/eljárás laboratóriumi tesztelése, a skálázási követelmények meghatározása

További egy nagyságrenddel történt méretnövelést valósítottak meg (100 mL-ről 1000 mL-re, illetve 2000 mL-re), amelyben az összes komponenst a rendszerbe integrálták. Ekkor dőlt el véglegesen, hogy az eredetileg tervezett cink anód nem biztosít kellő cellafeszültséget, vagyis elégtelen hajtóerőt képez a cella működéséhez. Ezért magnéziummal helyettesítették. Mivel a

magnézium rúd formájában széleskörben elérhető és olcsó, a cella alakját párhuzamos sík elektród rendszerből henger alakúvá változtatták. A legcélszerűbb felhasználásnak a tengervízzel működtetett tartalékelem látszott. Ennek lehetőségét szintetikus tengervízzel laboratóriumban tesztelték. Az újonnan létrehozott prototípus működtetésével meghatározták a folyamat határfokát, továbbá elkészítették a cella energia- és tömegmérlegét. A projektgazdák áttekintették a rendszer lehetséges alkalmazásait.

A benyújtott eredmények mérlegelése után a U.S. Navy további forrást biztosított a fejlesztéshez (Phase II Option).

A tudományos eredmények magas impakt faktorú lapban közölték: Peckerar, M. et al. (2011). "A Novel High Energy Density Flexible Galvanic Cell," *Energy & Environmental Science*, 4 (5), 1807-1812.

TRL 6: Nagy skálájú prototípus építése és tesztelése – a mérnökségi fejlesztés kezdete

Ezen az érettségi szinten a projektgazdák 10 L térfogatú cellát építettek, amelynek bevetésére a Chesapeake öbölben került sor. Mivel ott a tengervíz összesített iontartalma (szalinitása) a rendes tengervíz sótartalmának kb. $\frac{1}{3}$ -a, előzőleg laboratóriumi mérésekre volt szükség, hogy biztosítani fogja-e az öbölvíz a szükséges vezetőképességet. A mérések kedvező eredményt mutattak. A való környezetben történő bevetés a víz alatti elektromos csatlakozások megfelelő biztonságát követelték meg (vízhatlanoknak kellett lenniük), ami további mérnökségi feladatokat követelt meg. A szakasz eredményeiből az alkalmazásokat adató újabb közlemény született: Peckerar, M. et al. (2013). "An energy harvesting system surveyed for a variety of unattended electronic applications," *Solid State Electronics* 79, 233-237.

TRL 7: Integrált prototípus rendszer/eljárás megléte, tesztelése és hitelesítése

A tesztelést a Chesapeake öbölben végezték, valós működési környezetben, víz alatti áramlás, algák, kagyló és más tengervízi élőlények jelenlétében. A mérések mintegy 8 napig tartottak, az eredményeket automatizáltan, folytonosan regisztrálták. A teszteredmények hitelesítették a tartalékelem rendszer szintű teljesítményét és alátámasztották az analitikai előrejelzéseket. A csapat végig gondolta a lehetséges kereskedelmi alkalmazási területeit, a küldetés-kritikus övezetek stratégiai monitorozásától a háztartási alkalmazásokig.

TRL 8: Kereskedelmi környezetbe ágyazott demonstrációs rendszer felállítása és működtetése

A kereskedelmi bevezetés előtti szakaszban végeztek tesztelést. Kifejlesztettek civil alkalmazásokat, köztük az úszómedencék szennyezettségét mérő eszközt, okos pelenkát és okos kötszert; az

utóbbi két alkalmazáshoz külön erre a célra okostelefon applikáció készült. Lehetséges forgalmazható eszközként megtervezték a cserepes növények földjének követését, a nedvességtartalmának jelzését, a túlöntözés, illetve kiszáradás elkerüléséért. Dokumentált tesztelési teljesítményt valósítottak meg, ami hitelesíti az analitikai előrejelzéseket, valamint alkalmas az üzemgazdasági költséganalízisre. Tárgyalásokat folytattak nemzetközi konszernekkel és kis cégekkel az alkalmazások lehetséges értékesítéséről.

TRL 9: Igazolt rendszer/eljárás, ami alkalmas teljes kereskedelmi bevetésre

A kereskedelmi forgalomba hozatalhoz szükséges volt a működés statisztikai követése és a rendeltetés szerinti működés dokumentált eredményei. Az elkészült rendszert a felhasználók által meghatározott rendeltetés és paraméterek szerint alakították ki.

A tartalékelem kezdeti (cink-tengervíz) változata szabadalmi oltalmat kapott:

“Zinc-Water Battery and System,” Peckerar, M.C. et al., U.S. 9,627,694 (April 18, 2017)

A tartalékelem végső (magnézium-tengervíz) változatról írt közlemény:

Lowy, D.A.; Mátyás, B. (2020). “Sea Water Activated Magnesium-Air Reserve Batteries: Calculation of Specific Energy and Energy Density for Various Geometries,” DRC Sustainable Future, 1 (1), 1-6. DOI: 10.37281/DRCSF/1.1.1

A projekt módszertanáról írt közlemények:

Lowy, D.A. (2021). “Innoversity Applied to a Student Team,” Academia Letters, Article 303. (<https://doi.org/10.20935/AL303>)

Lowy, D.A. (2021). “Innoversity: a means to success in international collaborations,” DRC Sustainable Future, 2 (1), 83-90. DOI: 10.37281/DRCSF/2.1.10

IV. A TRL szintek alkalmazhatósága a szellemi tulajdon oltalmazásával összefüggésben

A szellemi tulajdon oltalmazását érdemes minél korábban elindítani. Ahhoz, hogy a találmány oltalmazható legyen, a szabadalmi bejelentést a találmány nyilvánosságra *hozatala előtt kell megtenni*.*

A szabadalmi bejelentés szükséges feltétele, hogy a javasolt megoldás bizonyítható módon eredeti, világviszonylatban újdonság tartalmú legyen, amit a megfelelő alapossággal végzett dokumentáció és a rendelkezésre álló adatbázisok körütekintő áttekintése bizonyíthat. További két feltétel a feltalálói tevékenység és az úgynevezett ipari alkalmazhatóság feltétele.

Részletes magyarázattal és eligazítással szolgál a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatalának honlapján (www.hipo.gov.hu) olvasható és onnan letölthető Bevezetés az iparjogvédelemben című online könyv, amely bőséges példatárral is szolgál (iparjogkonyv_web_0914.pdf).

A TRL 3-4 szint megvalósításakor vagy azt követően mindenképpen indokolt a szabadalmi bejelentés megtételének mérlegelése, illetve az oltalmazni kívánt műszaki megoldás érdemi definíciója birtokában a mielőbbi ilyen oltalom kezdeményezése. Mindenképpen javasolt megfelelő újdonságkutatás és a versenytársi fejlesztések felmérése (piacfelmérés/piacvalidálás).

A TRL 7-9 szakaszok folyamán piacfelmérés/piacvalidálás kezdeti következtetéseinek birtokában felelős döntés hozható a védjegy- és a designoltalmak célszerű tartalmáról, illetve nemzeti és/vagy nemzetközi hatósági bejelentéséről.

Közzétéve: 2023. szeptember 21.

Módosítva: 2023. november 20. A módosítás dőlt kiemeléssel.

* *Törölt mondat.*