



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



Anexa 18

Prezentare niveluri TRL

TRL este un sistem utilizat pentru a evalua stadiul de dezvoltare al unei tehnologii, variind de la nivelul inițial (TRL 1) până la nivelul complet operațional (TRL 9).

Definirea acestor niveluri de maturitate tehnologică, documentația justificativă și demonstrarea tranziției de la o etapă la alta este detaliată în tabelul de mai jos.

TRL	Descriere	Justificare
TRL 1 Principii de bază observate	<ul style="list-style-type: none"> Cercetarea științifică începe cu proprietățile unei tehnologii potențiale observate în lumea fizică. Aceste proprietăți de bază sunt raportate în literatură. Au fost efectuate activități de cercetare de bază și au fost definite principiile de bază. 	<u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u> <ul style="list-style-type: none"> Prezentarea principiilor de bază ale tehnologiei, sau observații ale realității fizice (inclusiv “discovery experiments”).
<u>Definirea Conceptului și Identificarea Oportunității (TRL 1 → TRL 2):</u> <ul style="list-style-type: none"> Descrierea conceptului inițial al tehnologiei sau produsului, clarificând principiile de bază și oportunitățile asociate. Efectuarea de cercetări preliminare și stabilirea primelor concepte teoretice. Identificarea potențialelor beneficii și nevoi ale pieței sau ale utilizatorilor. Trecerea de la TRL 1 la TRL 2 reprezintă transferul ideilor pur teoretice spre cercetarea aplicată. 		
TRL 2 Formularea conceptului tehnologic	<ul style="list-style-type: none"> Conceptul tehnologic și/sau cererea este formulată. Sunt identificate aplicații inițiale practice. Se confirmă potențialul materialului sau al procesului pentru satisfacerea unei necesități tehnologice. Odată stabilite principiile de bază, se începe tranziția spre aplicații practice. Aplicațiile pot fi reale (identificate 	<u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u> <ul style="list-style-type: none"> Publicații sau alte documente care prezintă și argumentează modelul conceptual inclusiv din perspectiva fezabilității implementării acestuia.



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



	<p>independent) sau speculative, prin urmare nu se așteaptă o analiză/argumentare detaliată a viitoarelor aplicații. Exemplele pot fi limitate la studii teoretice.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Majoritatea lucrărilor sunt studii analitice sau pe hârtie, cu accent pe înțelegerea mai bună a științei. Lucrările experimentale au rolul de a corobora observațiile științifice fundamentale identificate în TRL 1.
<p>Evaluarea Preliminară a Fezabilității (TRL 2 → TRL 3):</p> <ul style="list-style-type: none"> Descrierea conceptului tehnologic în detaliu și definirea cerințelor inițiale. Realizarea unei evaluări inițiale a fezabilității tehnologice. Identificarea riscurilor și provocărilor potențiale. 		
<p>TRL 3 Demonstrarea conceptului privind funcționalitățile critice sau caracteristicile la nivel analitic sau experimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> Demersul trebuie să demonstreze trecerea de la faza teoretică ("pe hârtie") la cea experimentală, pentru a verifica funcționalitatea conceptului. Modelarea și simularea numerică pot fi utilizate pentru a completa experimentul fizic. Cercetarea aplicată este continuată și începe dezvoltarea. Include studii și măsurători inițiale de laborator pentru a valida predicțiile analitice ale elementelor separate ale tehnologiei. 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Prezentarea ipotezelor cercetării și a rezultatelor ce se așteaptă a fi obținute; Studii analitice și experimentale la scară de laborator; Rezultatele testelor de laborator pentru determinarea parametrilor de interes și compararea cu predicțiile teoretice pentru sub-sistemele critice.
<p>Definirea și Rafinarea Conceptului (TRL 3 → TRL 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> Conceptul este dezvoltat și testat în medii controlate pentru a valida fezabilitatea acestuia Dezvoltarea unei scheme conceptuale a tehnologiei și identificarea principalelor componente și funcționalități. Identificarea principalelor riscuri și provocări tehnice. 		
<p>TRL 4 Validarea componentelor și/sau a ansamblului în</p>	<ul style="list-style-type: none"> Principalele componente ale tehnologiei sunt integrate și testate în laborator în condiții similare cu cele de operare pentru a se stabili funcționalitatea ansamblului. 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Descrierea modului de desfășurare a demonstrației (ex. principalele etape ale



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



<p>condiții de laborator</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizarea unei demonstrații de laborator care integrează toate elementele cheie necesare pentru a rezolva problemele identificate și prezintă aspecte funcționale ale conceptului operat în funcție de cerințele pieței • Acest demers poate avea un grad relativ scăzut de fidelitate în raport cu sistemul real. Spre exemplu, se integrează componente separate în laborator și se efectuează teste într-un domeniu de condiții de operare. • TRL 4 este primul pas în a determina dacă componentele individuale vor funcționa împreună ca sistem. • Scopul TRL 4 ar trebui să fie reducerea opțiunilor posibile în întregul sistem. 	<p>demonstrației de laborator, valorile de referință avute în vedere, etc.);</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrierea funcționalității componentelor ca un sistem; • Rezultatele testelor pentru ansamblul de componente, cu evidențierea similitudinii (sau diferențelor) în raport cu funcționalitatea și performanțele așteptate
<p>Evaluarea Fezabilității Tehnice și Finalizarea Designului Detaliat (TRL 4 → TRL 5):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dezvoltarea și finalizarea designului detaliat al tehnologiei pe baza conceptelor validate la TRL 4. • Realizarea studiilor de fezabilitate pentru a evalua posibilitatea implementării tehnologiei. • Identificarea soluțiilor tehnice pentru obstacolele identificate. • Documentarea completă a specificațiilor tehnice și a arhitecturii sistemului. 		
<p>TRL 5 Validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții relevante de funcționare (mediul industrial)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Validarea modelului de laborator, la scară redusă sau mărită, după caz, cu reproducerea prin similitudine a condițiilor reale de funcționare. • Toate componentele tehnologiei sunt asamblate astfel încât configurația sistemului este similară aplicației finale în aproape toate aspectele. • Diferența principală între TRL 4 și TRL 5 este creșterea fidelității testelor de laborator în raport cu sistemul real, 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Rezultatele testelor de laborator, • Analiza diferențelor între condițiile de laborator, analiza semnificației testelor de laborator pentru funcționarea sistemului real.



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



	<p>respectiv cu condițiile reale de operare. Sistemul testat este foarte apropiat de prototip.</p>	
<p>Construcția Prototipului Avansat și Dezvoltarea Preliminară (TRL 5 → TRL 6):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construirea unui prototip care să reflecte designul detaliat și să includă caracteristicile majore ale tehnologiei. • Testarea prototipului într-un mediu de laborator sau de simulare pentru a valida funcționalitățile cheie. • Realizarea de teste pentru a evalua performanța, fiabilitatea și adaptabilitatea tehnologiei în mediul prevăzut. 		
<p>TRL 6 Demonstrarea funcționalității modelului în condiții relevante de funcționare (mediul industrial)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrația prototipului de sistem / proces într-un mediu operațional • Modelul la scara reală (prototipul) este testat într-un mediu relevant pentru condițiile reale de funcționare. Aceasta reprezintă un pas important în demonstrarea disponibilității unei tehnologii. Exemplele includ fabricarea dispozitivului pe o linie pilot de inginerie. • Diferența majoră dintre TRL 5 și 6 este intensificarea de la scară de laborator la cea de inginerie și determinarea factorilor de scalare care vor permite proiectarea sistemului final. • Demonstrația ar trebui să fie capabilă să îndeplinească toate funcțiile care vor fi necesare unui sistem de fabricație complet. • Mediul de funcționare pentru testare trebuie să reprezinte îndeaproape mediul de operare real. • Scopul în TRL 6 este de a reduce riscul de proiectare. Rezultatele prezentate ar trebui să fie relevante din punct de vedere statistic. 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Rezultatele obținute prin testarea pe scară industrială și analiza diferențelor dintre scara de inginerie, sistemul / mediul prototipic și analiza a ceea ce înseamnă rezultatele experimentale pentru eventualul sistem / mediu de operare.
<p>Optimizare, perfecționare și rafinare a prototipului (TRL 6 → TRL 7):</p>		



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



- Demonstrarea îmbunătățirii și optimizării prototipului pe baza aplicării feedback-ului și a constatărilor din testele anterioare
- Evidențierea modului în care au fost abordate problemele identificate în etapele anterioare.
- Adresarea problemelor de design și îmbunătățirea eficienței.
- Demonstrarea stabilității și fiabilității prototipului în condiții de testare variate.
- Demonstrarea faptului că tehnologia poate funcționa în mod consecvent și fără erori semnificative.

<p>TRL 7 Demonstrarea funcționalității prototipului în condiții relevante de funcționare</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem pilot integrat demonstrat. • Demonstrarea prototipului sistemului/procesului în mediu operațional (nivel pilot integrat). • Aceasta reprezintă un pas major de la TRL 6, care necesită demonstrarea unui prototip real al sistemului într-un mediu relevant. Designul final este practic complet. • Scopul acestei etape este de a elimina riscurile de inginerie și de producție. Pentru a realiza în mod credibil acest obiectiv și pentru a ieși din TRL 7, este necesară o scalare a cât mai multor aspecte semnificative de inginerie și de fabricație care pot apărea în timpul tranziției între TRL 6 și 7. 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Rezultatele testelor la scară reală, analiza diferențelor dintre mediul de testare și mediul real, interpretarea rezultatelor experimentale și extrapolarea lor pentru funcționarea în mediul real.
---	--	--

Teste Avansate și Validare (TRL 7 → TRL 8):

- Încorporarea și demonstrarea faptului că prototipul a fost supus unor teste extinse, într-un mediu relevant pentru a evalua performanța în condiții apropiate de cele reale.
- Realizarea de teste avansate pentru validarea performanței tehnologice și fiabilității în medii variate (medii extreme, condiții de utilizare intensivă și scenarii de utilizare realiste).
- Efectuarea de teste de verificare a funcționalității și de identificare a limitărilor.
- Asigurarea faptului că tehnologia îndeplinește cerințele de performanță și siguranță.

<p>TRL 8 Sisteme finalizate și calificate</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem încorporat în design comercial. • Sistemul / procesul a fost actualizat și calificat prin testare și demonstrație (demonstrație pre-comercială). 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Procedurile de operare/utilizare finale.
--	--	---



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



	<ul style="list-style-type: none"> • Tehnologia s-a dovedit a funcționa în forma sa finală și în condițiile preconizate. • În aproape toate cazurile, acest TRL reprezintă sfârșitul dezvoltării sistemului real. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dovada ca Certificarea Operațională (Operational Readiness Review) a fost trecută cu succes înainte de prima pornire.
<p><u>Conformitate cu Standardele și Reglementările in vigoare (TRL 8 → TRL 9):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Asigurarea faptului că tehnologia respectă standardele industriale și reglementările relevante. • Obținerea de aprobări sau certificări necesare pentru implementare și utilizare pe scară largă. 		
<p>TRL 9 Sisteme a căror funcționalitate a fost demonstrată în mediul operațional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem dovedit și pregătit pentru implementarea comercială completă. • Sistemul real dovedit prin operațiuni de succes în mediul de operare și pregătit pentru desfășurarea comercială completă. 	<p><u>Justificare nivel TRL, în funcție de specific, se poate face prin:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • detalii privind implementarea tehnologiei la scară largă în mediul de operare prevăzut (costul, randamentul, rezultatele de producție la starea de echilibru 24/7 etc.) • Finalizarea rapoartelor operaționale, de testare și de evaluare
<p><u>Implementarea la Scară Largă și Operaționalizarea (TRL 9):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementarea tehnologiei la scară largă în mediul de operare prevăzut. • Asigurarea că toate sistemele și procesele sunt operaționale și interconectate. 		
<p><u>Monitorizare, Întreținere și Îmbunătățiri Continue (TRL 9):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Stabilește un sistem de monitorizare și întreținere pentru a asigura funcționarea continuă. • Răspunde la orice probleme sau solicitări de service. • Implementează îmbunătățiri continue pe baza feedback-ului utilizatorilor și a evoluțiilor tehnologice. 		

Referințe:

- POR 2014-2020 - Axa 1 – PROOF OF CONCEPT: Dezvoltarea unui model conceptual inovativ (Proof-of-Concept)
- UEFISCDI: https://uefiscdi.gov.ro/resource-868770-definitii_trl.pdf



Cofinanțat de
Uniunea Europeană



- Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare:
<https://ancd.gov.md/sites/default/files/document/attachments/TRL.pdf>
- <https://www.upt.ro/img/files/2015-2016/cercetare/pncdi3/TRL-definitie-descriere.pdf>
- <https://ised-isde.canada.ca/site/clean-growth-hub/en/technology-readiness-level-trl-assessment-tool>
- Project Result Maturity Diagram:
https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/assets/images/sedia/project_results/trl.jpg