

Tehnilise valmisoleku taseme määratlemine projektides

TRL 1

Avastuse staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Uuritakse tehnoloogia põhiprintsiipe (basic principles observed).

Selgitus: Uuritakse teoreetiliselt tehnoloogia olulisi omadusi ja käitumist. Näiteks kirjanduse ülevaated ja alusuuringud.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Teostatud on esialgsed/ligikaudsed arvestused
- Määratletud on uues tehnoloogias kasutatavad füüsikalised-keemilised omadused ja eeldused
- Läbiviidud teoreetilised uuringud kinnitavad tehnoloogia põhiprintsiipe
- Teostatud on esialgsed teaduslikud vaatlused ajakirjades / konverentside materjalides / tehnilistes aruannetes
- Baasteaduslikud printsiibid on vaadeldud
- On teada, kes tehnoloogiat võiks vajada, sh rahaallikas
- Koostatud uurimistöö hüpotees
- On teada, kes uurimistööd teeb ja kus seda tehakse

TRL 2

Teoreetilise käsitluse staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Tehnoloogiline kontseptsioon on sõnastatud (technology concept formulated).

Selgitus: Järgneb tehnoloogia põhiomaduste teoreetilistele uuringutele. Võimaliku tehnoloogia omadused on kirjeldatud. Võib olla ka patendi kaitse. Näiteks sõnastatakse vajalikud analüütilised uuringud ja katsed ning nende läbiviimise meetodika.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Klient on tuvastatud
- Võimalikud süsteemide või komponentide rakendused on tuvastatud
- Teoreetilised uuringud näitavad, et rakendus on teostatav
- Tuvastatud on esialgne teoreetiline või empiiriline lahendus
- On kindlaks tehtud tehnoloogia põhielemendid
- Tehnoloogia komponente on osaliselt iseloomustatud
- Iga tehnoloogia elemendi kohta on tehtud toimivuse ennustus
- Potentsiaalne klient on väljendanud huvi rakenduse vastu
- Esialgne analüüs näitab, milliseid peamisi funktsioone tuleb tehnoloogial täita
- Modelleerimist ja simulatsiooni on kasutatud ainult füüsikalise-keemiliste põhimõtete kontrollimiseks
- Konkreetset analüütilist uuringut kinnitavad idee põhiprintsiipe
- Teadusajakirjades/konverentside materjalides/tehnilistes aruannetes on kajastatud analüütilisi uuringuid
- Tehnoloogia üksikud osad toimivad (tegelikku integratsioonikatset pole tehtud)
- Loodud on investeerimisstrateegia
- Selgitatud on rakendusloomingu vajalike teadlaste ja uurimisinfrastruktuuri võimalused ja piirangud
- On teada, milliseid katseid peab tegema (uurimisviis)
- Teostatud on riskianalüüs (sh hind, ajakava, tulemuslikkus)
- On olemas ligikaudne ettekujutus sellest, kuidas tehnoloogiat turustada (kes on huvitatud, kuidas nad sellest teada saavad?)

TRL 3

Esiagne laboristaadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Oluliste näitajate ja kontseptsiooni katseline tõestus (experimental proof of concept).

Selgitus: Alustatakse aktiivsete analüütiliste ja laboratoorsete uuringutega. Näidatakse tehnoloogia üksikute komponentide tehnilist teostatavust piisavate andmete põhjal. Näiteks esialgsed laborikatsed selleks, et tõestada, et midagi praktilist on olemas.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Analüütiliste uuringute abil on kinnitatud tehnoloogia elementide toimivuse ennustused
- On teada, et matemaatilised arvutimudelid ja simulatsioonid on võimalikud
- Esiagsed süsteemi toimivusnäitajad ja mõõdikud on kindlaks tehtud ja hinnatud
- Modelleerimise ja simulatsiooni abil on kinnitatud tehnoloogia elementide toimivuse ennustused
- Süsteemsete komponentideni pole jõutud, tehtud on laboratoorsete seadmetega katsed füüsikalise-keemiliste põhimõtete kontrollimiseks
- Tehtud on laborikatsed millega on kontrollitud rakenduse teostatavust
- Laborikatsete abil on kinnitatud tehnoloogia elementide toimivuse ennustused
- Kliendiesindaja töötab koos arendusmeeskonnaga
- Klient osaleb tehnoloogia nõuete koostamises
- Tehnoloogiaüleseid mõjusid (kui neid on) on hakatud tuvastama
- Tehnoloogia disaini meetodid on kindlaks tehtud ja välja töötatud
- Teoreetilised uuringud näitavad, et süsteemi erinevad komponendid peaksid ka koos (ühtse süsteemina) toimima
- Klient identifitseerib kriteeriumid, mille korral ta on valmis arenduse omandama/ostma/üle võtma
- On loodud protsessi mõõdikud
- On alustatud skaleerimisuuringutega
- Olemasolevaid tootmiskontseptsioone on hinnatud
- Teostatavus on teaduslikult täielikult tõestatud
- Käesoleva staadiumi analüüs näitab, et tehnoloogia täidab talle esitatavaid nõudeid
- On määratletud tehnoloogia ja protsessi riskid üldisel tasemel
- Kindlaks on tehtud riskide maandamise strateegiad
- Esitatud on parim võimalik lahendus, ilma majandusliku kalulatsioonita
- Tehtud on tehnoloogia maksumuse algeline (väga esialgne) analüüs

TRL 4

Laboritõestuse staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Tehnoloogia komponentide töö on kontrollitud laboris (technology validated in lab).

Selgitus: Viiakse läbi tehnoloogia oluliste komponentide projekteerimine, arendamine ja nende laboris testimine. Tehnoloogia põhilised komponendid suudavad koos toimida. Viiakse läbi katsed täiemahuliste probleemide või andmekogudega, valmis on suhteliselt ebatäpne prototüüp, võrreldes eeldatava lõpptootega.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Tehnoloogiaülesed probleemid (kui neid on) on täielikult tuvastatud
- Ad hoc ja saadaolevatest laborikomponentidest on pandud kokku esialgne süsteem (asenduskomponendid)
- Kõik individuaalsed komponendid on laboris testitud
- Olemas on detailid ja komponendid tootmiseelses vormis
- Modelleerimist ja simulatsiooni kasutatakse mõnede komponentide ja komponentide vaheliste liideste toimivuse simuleerimiseks
- Klient on avaldanud nõuete dokumendi
- Üldised süsteeminõuded lõppkasutaja rakendustele on teada
- Süsteemi toimivusmõõdikud on loodud
- On kehtestatud süsteeminõuetest tulenevad laboratoorsed nõuded
- Saadaval olevad komponendid on kokku pandud süsteemiks
- Laboratoorsed katsed olemasolevate komponentidega näitavad, et need töötavad koos
- Riistvara tervikus on tuvastatud komponentide ühildamisviisid
- Kehtestatud on teadusarendustööst väljumise kriteeriumid
- On demonstreeritud tehnoloogia põhifunktsionaalsuse toimimist lihtsustatud keskkonnas
- Toodetud on skaleeritava tehnoloogia prototüübid
- Süsteemi disaini ideekavandid on dokumenteeritud
- Disainimeetodid on kindlaks määratud väikeses maastaabis rakenduste analüüsimiseks/simuleerimiseks
- Esialgsed kulutegurid on tuvastatud
- Alustatud on integratsiooniuringutega
- Tehnoloogia maksumuse eesmärgid on seatud (CAIV indicators)
- Peamised tootmisprotsessid on laboratoorsel tasemel kindlaks tehtud
- Skaleerimisplaanid ja tehnoloogiaskeemid on valminud
- Loodud on süsteemitehnika üldkavand (SEMP)
- Laboratoorses keskkonnas on lõpule viidud madala täpsusega tehnoloogilise süsteemi integreerimine ja inseneritööd
- Määratletud on leevendusstrateegiad, et kõrvaldada valmistatavuse/tootlikkuse puudujäägid
- Klient võtab kohustuse tehnoloogia üleminekuks, tihti on selleks MOU või ATD leping
- Loodud on integreeritud (arendaja+klient) arendusmeeskond
- Alustatud on ametlikku riskijuhtimise programmiga
- Tehtud on esialgne rikete režiimi ja mõjude analüüs (FMEA) või riskijärgnevuse analüüs
- Tehnoloogia valmimise kuupäevad on kindlaks määratud

TRL 5

Labori prototüübi staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Tehnoloogia on kontrollitud asjakohases keskkonnas (technology validated in relevant environment).

Selgitus: Tehnoloogiat testitakse põhjalikult laboris ja asjakohases simuleeritud keskkonnas. Tehnoloogia põhilised komponendid on omavahel integreeritud. Valmis on suhteliselt täpne laboratoorne prototüüp, võrreldes eeldatava lõpptootega. Näiteks 2 liitrisel labori reaktoris tõestatud kasest ligniini eraldamise tehnoloogia.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Tehnoloogiaülesed mõjud (kui neid on) on tuvastatud analüüsi abil
- Saadaval on tootmiseelne riistvara
- Süsteemiliidese nõuded on teada
- Tulemuseesmärgid on parandatud ja kindlaks määratud
- Kaubandusuuringute ja laborikatsete abil määratletakse peamised tootmisprotsessid
- Komponentide/alamsüsteemide vahelised liidesed on realistlikud (realistlike liidestega paneel)
- Aset on leidnud olulised inseneritöö - ja disainimuudatused
- Laboratoorne prototüüp on loodud
- Laboratoorses keskkonnas on demonstreeritud vahendite ja seadmete toimivust
- Süsteemi kõrge täpsusega integratsioon on labori tingimustes lõpule viidud, tehnoloogia on testimiseks valmis realistlikes/simuleeritud keskkondades
- Osatakse esialgselt jälgida kvaliteeti ja usaldusväärsust, kuid täpsed sihttasemed pole veel kindlaks määratud
- Mõned eriotstarbelised komponendid on integreeritud olemasolevate laborikomponentidega
- Laborikeskkond on modifitseeritud ligikaudseks töökeskkonnaks
- Esmane montaaživajaduste hindamine on läbi viidud
- Määratletud CAIV-i eesmärkide täitmiseks vajalikud tasemed
- Tootmisprotsessid on tootmisosakonnas läbi vaadatud ja põhimõtteliselt heakskiidetud
- Välja on töötatud künniste ja eesmärkidega nõuete maatriks

TRL 6

Estalgse tööstuskeskkonna staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Tehnoloogia on demonstreeritud asjakohases keskkonnas (technology demonstrated in relevant environment).

Selgitus: Tehnoloogia edasine arendamine toimub lähtuvalt reaalsest probleemidest.

Tehnoloogia on osaliselt integreeritud olemasolevate süsteemidega, loodud on piiratud mahus dokumentatsioon. Tehnoloogia võimalikkus on täielikult tõendatud asjakohases simuleeritud keskkonnas. Näiteks: olemasolevatest tootmiskomponentidest (tootmisliinist) edasiarendatud katsetootmine.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Tehnoloogiaülest probleemide mõõtmine ja jõudlusnäitajate valideerimine on lõpule viidud
- Kvaliteedi ja usaldusväärsuse tase on kindlaks määratud
- Tekivad sagedased disainimuudatused
- Võimalik süsteemi töökeskkond on teada
- Investeeringuvajadus protsessi ja tööriistade jaoks on kindlaks määratud
- Paigas on modelleerimise ja simulatsiooni kirjeldused, mida kasutatakse süsteemi jõudluse simuleerimiseks töökeskkonnas
- Tootmine aktsepteerib laboris toimunud katseid ja lubab katsed tuua tööstusesse
- Olemas on representatiivne mudel/prototüüp, mida on testitud ülitäpses laboris/simuleeritud töökeskkonnas
- Katsed toimuvad realistlikus keskkonnas väljaspool laborit, kuid mitte lõplikus töökeskkonnas
- Kriitilised tootmisprotsessid on prototüübitud
- Suurem osa tootmiseelsest riistvarast on saadaval
- Komponendid on funktsionaalselt ühildatavad terviksüsteemiks
- Laboriprototüübist on saanud kõrge täpsusega funktsionaalne prototüüp
- Integreerimisprotsessid on lõpetatud
- Tootmisprobleemid on kindlaks tehtud ja suuremad neist on lahendatud
- Protsess ja tööriistad on valmis tööstuskeskkonnas toimimiseks
- Tootmisdemonstratsioonid on lõppenud
- Inseneritehniline teostatavus on täielikult tõestatud

TRL 7

Tööstusliku prototüübi staadium

ÜLDINE KIRJELDUS

Tehnoloogia (prototüüp) on testitud ja demonstreeritud töökeskkonnas (system prototype demonstration in operational environment).

Selgitus: Tehnoloogia demonstreerimine töökeskkonnas. Tehnoloogia on täielikult toimiv või peaaegu toimiv, selle enamik komponente on kättesaadavad demonstreerimiseks ja testimiseks ning on hästi integreeritud lisateenustega. Olemas on piiratud mahus dokumentatsioon. Töökeskkond, kuid mitte lõplik platvorm, nt katselennukid.

MIS PEAB OLEMA SAAVUTATUD TASEME LÕPUKS?

- Materjalid, protsessid, meetodid ja disainitehnikad on kindlaks tehtud
- Reaalses keskkonnas on demonstreeritud on materjalid, tootmisprotsess ning protseduurid
- Iga süsteemi liideseid on testitud eraldi stressitingimustes tingimustes
- Tootmiskeskkonnas on demonstreeritud protsessi tööriistad ja ülevaatus-/testimisseadmed
- Seadmed ja vahendid on tõestatud
- Disaini muudatused vähenevad märkimisväärselt
- Hooldatavuse, usaldusväärsuse ja toetatavuse andmed ületavad 60% vajalikest andmetest
- Materjalid, protsessid, meetodid ja disainitehnikad on mõõdukalt välja töötatud ja kontrollitud
- Tootmiseelne riistvara on saadaval; kogused võivad olla piiratud
- Süsteemikomponendid on juba tootmiskomponentide tasemel
- Tootmisprotsessid on üldiselt hästi mõistetavad
- Tootmise planeerimine on lõpule viidud
- Enamik funktsioone toimivad simuleeritud töökeskkonnas
- Laborisüsteemi demonstratsioon reaalses tootmiskeskkonnas
- Täielikult integreeritud prototüüp, mis on demonstreeritud tegelikus või simuleeritud töökeskkonnas
- Süsteemi prototüüpi katsetati edukalt välikeskkonnas.
- Süsteem on valmis madala algtasemega tootmiseks (LRIP)