

Tehnoloogilise valmiduse tasemed (TVT) keemiatööstuses

Tõlgitud publikatsioonist: Specifying Technology Readiness Levels for the Chemical Industry, G.A. Buchner, K.J. Stepputat, A.W. Zimmermann, R. Schomäcker, Industrial & Engineering Chemistry Research 2019 58 (17) 6957-6969; DOI: 10.1021/acs.iecr.8b05693

Tehnoloogia valmiduse tase (TVT/TRL)		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pealkiri		Idee	Kontseptsioon	Kontseptsiooni tõendus	Esialgne protsessi-arendus	Detailne protsessi-arendus	Piloot-katsetused	Demo-faas ning tööstus-skaalas projekteerimine	Tööstuslik kasutuselevõtt	Tootmine
Kirjeldus		Võimalused tuvastatud, alusuuringud tõlgendatud võimalikeks rakendusteks (nt. läbi ajurünnaku, kirjanduse analüüsi)	Tehnoloogiline kontseptsioon ja/või rakendus sõnastatud, patendiuring teostatud	Laboratoorne rakendusuuring alustatud, funktsionaalne põhimõte / reaktsioon (mehhanism) tõendatud, prognoositud reaktsioon täheldatud (kvalitatiivselt)	Kontseptsioon laboratoorses töötingimustes valideeritud, skaleerimise ettevalmistused alustatud, lihtsustatud protsessi-mudelid identifitseeritud	Protsessi-mudelid identifitseeritud, omaduslikud andmed analüüsitud, laboratoorse skaala informatsiooni alusel simuleeritud protsess ning piloottehas	Pilootüksus rajatud ning rakendatud madalamahulises väiketootmises, tooted on lõpp-rakenduses tõendatud, detailsed protsessi-mudelid defineeritud	Pilootüksuse parameetrid ning toimimine optimeeritud, (valikuline) demotehas ehitatud ning käivitatud, seadmete spetsifikatsioonid määratletud koos täis tööstuslikule skaalale ülekantavate komponentidega	Tooted ja protsessid on integreeritud organisatsioonilises struktuuris (riistvara ja tarkvara), täis tööstuslikus skaalas tehas ehitatud	Tööstuslik tehas auditeeritud (vastuvõtutestid tehtud), „võtmed kätte“ tehas, tootmine on käivitatud täies ulatuses eeldatud tingimustes tööstuslikus mahus ning keskkonnas, tootluse garanteeritud
Üldised projekti näidikud	Töö tulem	Idee / üldine kontseptsioon / visioon / strateegia dokument	Tehnoloogiline kontseptsioon sõnastatud, lahenduste loend, edaspidised TA tegevused kavandatud	Laboratoorne tehnoloogilise kontseptsiooni tõendus	Dokumentatsioon reprodutseeritud ja prognoositavatest (kvantitatiivsetest) eksperimentide tulemustest, mitu alternatiivset protsessi kontseptsiooni hinnatud	Parameetrite ja omaduste andmed, mõni alternatiivsetest protsessi kontseptsioonidest on hinnatud detailselt	Pilootüksus töötab	Optimeeritud pilootüksus, (valikuline) töötav demotehas, näidistoodangu tootmine	Viimistletud ning heaks kiidetud süsteemi ning ehitise plaan	Täismahus tehas testitud ning töötab
	Töökeskkond	Kontor (dokumendid, jms)	Kontor (dokumendid, jms)	Labor	Labor	Labor / katseüksus	Pilootüksus, tehniline keskus	Pilootüksus, tehniline keskus, (valikuline) demotehas (potentsiaalselt tootmisasukoha juures)	Tootmisasukoh	Tootmisasukoh
	Toode (majanduslik tulem)	Üldine uurimine (sisemine või välimine), mis võib mõjutada toote kontseptsiooni, kasutajauuring teostatud	Algne tootekontseptsioon sõnastatud, detailne kasutajauuring teostatud	Tootekontseptsioon ja tulenevad rakendused on testitud laboratoorselt, esimesed kasutajatest läbi viidud	Täiendavad eksperimendid teostatud et laiendada rakenduste valimit / parendada kasutatavust, kasutaja tagasisidestamise protsess rakendatud	Detailsed toote omadused teada	Toote omadused fikseeritud (enam ei muudeta)	Tooted testitud tööstuslikult relevantse töökeskkonnas	Lõpptoode on kliendi poolt aktsepteeritud ning tagasiside arvestatud/rakendatud	Toote valmis (müümiseks)
Arendus-tegevuse näidikud	Reaktsiooni-arendus (k.a. kineetika, termodünaamika, omaduslikud andmed, konversioon, selektiivsus, saagis)	Tootegrupp/-klass, tehnoloogia valdkond defineeritud (nt. kütused, mineraalid, tehnilised gaasid, biotehnoloogia, nanotehnoloogia)	Keemiline reaktsioon selekteeritud, reaktsiooni etappide arv tuvastatud	Eesmärk väärtused defineeritud laboratoorses skaalas (nt. konversioonile, selektiivsusele, saagisele), informatsioon saadud massivoo (olulised parameetrid vaadeldud), termodünaamika, peamise reaktsiooni kineetilise kirjelduse, füüsikaliste omaduste ja katalüsaatori sünteesi kohta, massibilans fikseeritud	Reaktsiooni teostatavus tõestatud, reaktsioon optimeeritud laboratoorses skaalas konversiooni, selektiivsuse, lisandite, katalüsaatorite, solventide ja kõrvalproduktide osas	Detailsed kineetilised andmed olemas, toote stabiilsus / lagunemine teada (kiirus/ulatus, mehhanism, kaasnevad kemikaalid), juhitavuse/kontrollitavuse mehhanismid uuritud, korrosioon analüüsitud ja materjalid selekteeritud	Toode ja reaktsioon (täielikult) uuritud ning mõistetud, kineetiline süsteem kõigist esinevatest reaktsioonidest	Eesmärk väärtused täismahus tootmisele defineeritud, parameetrid optimeeritud tundlikkuse alusel, detailsed omaduslikud andmed olemas	Tehase käivitamine planeeritud	Eesmärk väärtused on täismahus skaalal tehases saavutatud, optimeerimine
	Protsessi-arendus (k.a. eel- ja järeltöötlus ning reaktsiooni-etappide protsessi-tehnoloogia)	-	Üksikud protsessi etapid (klassid) tuvastatud (nt. eraldamine)	Valikud üksikuteks etappideks leitud (nt. destilleerimine), üksikud etapid läbi viidud	Protsessi etapid detailselt defineeritud (nt. rektifikatsioon), seadmete/aparatuuri tüüp defineeritud (nt. kolonn), protsessi kontseptsioon valideeritud laboratoorselt, defineeritud kõigi töötingimuste vahemikud (rõhk, temperatuur, kontsentratsioonid), olulised kineetilised ja termodünaamilised parameetrid olemas lähendustest või kirjanduses/andmebaasidest, vajaminev energiahulk hinnatud (võtmesammude termodünaamika baasil) kõigile etappidele	Protsessi kontseptsioon täpsustatud üksikute etappide laboratoorseks eksperimentide ja simulatsioonide alusel, olulised kineetilised ja termodünaamilised parameetrid teada arvutustest või mõõtmistest, täiustatud seadmete kirjeldus (nt. taldrikkolonn), katse kontseptsioon empiiriliselt skaleeritud etappidele, energiaallikad (tüübid) protsessi etappidele defineeritud	Piloot-skaalal protsessi üksikute etappide ja järeltöötuse (downstream) sammud välja töötatud ja teostatavus tõendatud madalamahulises väiketootmises, täiendatud seadmete spetsifikatsioonid (nt. „bubble cap“ taldrikkolonn), seadmete ühendused ja materjalid defineeritud, pikaajaline stabiilsus tõendatud (nt. kõrvalproduktide akumulatsioon teada), vajaminev energiahulk kõigile etappidele teada	Kõik protsessi etapid ühendatud, järeltöötuse (downstream) süsteem tõendatud sobilikuna demotehase mahule, lõplikud seadmete tüübid täismahus tehasele defineeritud, kõik sünteesi (reaktsiooni) ja protsessi etapid koordineeritud/balansseeritud, seadmete suurus määratletud ja mõõteriistade disain paigas, optimeeritud seadmete spetsifikatsioonid (nt. detailne kolonni taldrikute disain), isoleerimine kirjeldatud	Seadmed/instrumendid kohandatud täismahus protsessile	Optimeerimine
	Vooskeemid	-	-	Plokkskeem, toored/algsed kontseptsioonid protsessidele tuvastatud	Täiustatud plokkskeem koos massivoogudega	Protsessi vooskeem välja töötatud koos massi- ja energiavoogudega	Täiustatud protsessi vooskeem, olulised instrumendid (nt. ventiilid) otsustatud (energia, massivood), protsessi integreerimise kontseptsioon	Torustiku ja mõõteriistade skeem (P&ID diagram) välja töötatud (kõik taaskasutus-vood / ringlusvood, kõigi masinate list)	Optimeerimine	-
Maht tööstusliku mahu osana / skaleerimis-faktor tööstus-skaalale	Põhi-kemikaalid	-	-	≤0.001-0.003% / ≥100000-33333	≤0.01-0.02% / ≥10000-5000	≤0.1% / ≥1000	≤1% / ≥100	≤3% / ≥33	-	100%
	Peenkemikaalid	-	-	≤0.025% / ≥4000	≤0.1% / ≥1000	≤0.4% / ≥250	≤2% / ≥50	≤7% / ≥15	-	100%
	Erikemikaalid	-	-	≤0.125% / ≥800	≤0.4% / ≥250	≤1% / ≥100	≤4% / ≥25	≤10% / ≥10	-	100%