

## **Príloha č. 1 k zámeru národného projektu:**

### **Predbežný technický popis národnej pilotnej linky:**

Pilotná linka, ktorej primárne zameranie je orientované na pokročilé technológie puzdrenia inteligentných výkonových modulov, bude poskytovať vysoko inovatívny prístup k rozvoju nových technologických výrobných procesov a metodík. Tieto procesy budú pokrývať viacero typov platforiem, či už v rámci heterogénnej integrácie alebo čipletových architektúr, čo z dlhodobého hľadiska jasne poukazuje na hodnotnú investíciu, v rámci výskumného aj hospodárskeho sektora.

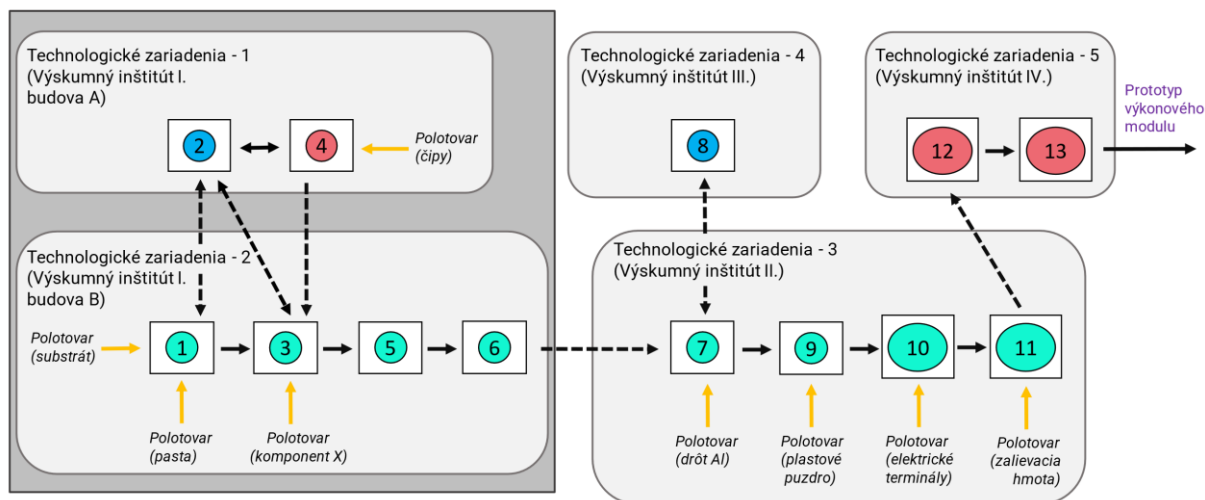
Vybudovaním pilotnej linky sa vytvorí unikátne a špičkové pracovisko v rámci Slovenska, ktoré bude rovnocenné k iným zahraničným pracoviskám v problematike aplikačného výskumu inteligentných výkonových polovodičových štruktúr a modulov.

Unikátnosť je daná predovšetkým dostupnosťou širokého spektra rôznych technologických zariadení a procesov, ktoré budú koncentrované na jednom mieste, pod jednou strechou. Technologické zariadenia, ktoré budú inštalované sa vyznačujú, okrem svojich špičkových parametrov, najmä veľkou modulárnosťou, pretože už od samotnej výroby budú situované a stavané na poskytnutie a dosiahnutie, čo najväčšej procesnej a metodickej variability technologických procesov. Technologické zariadenia, ktoré budú inštalované, sa okrem výborných technických parametrov vyznačujú aj vysokou modulárnosťou – sú navrhnuté tak, aby umožňovali čo najväčšiu flexibilitu a variabilitu v technologických procesoch. Bežná prax pri výrobe technologických zariadení spočíva v tom, že sa navrhujú a vyrábajú účelovo – teda presne na jeden konkrétny technologický postup, ktorý majú v rámci výrobných linky zabezpečovať. Takéto zariadenia nie sú určené na ďalšie úpravy a modifikácia procesov je často technicky zložitá a finančne neefektívna – v mnohých prípadoch by bolo výhodnejšie zakúpiť nové zariadenie. Tento prístup však zásadne obmedzuje možnosti výskumu a vývoja. Naopak, zariadenia, ktoré budú súčasťou našej linky, budú koncipované primárne na výskumné účely. Ich modulárnosť a flexibilita umožní navrhovať, testovať a prispôbovať technologické procesy podľa potreby, čo vytvára podmienky pre optimalizáciu a zvyšovanie celkovej efektivity vývoja technológií, najmä v oblasti výkonových polovodičových modulov.

Variabilita pilotnej linky sa čiastočne zabezpečí tým, že budú nainštalované zariadenia od viacerých výrobcov. Od týchto výrobcov sa bude požadovať, aby ich zariadenia vedeli medzi sebou spolupracovať prostredníctvom presne definovaných rozhraní. Tým sa získa aj cenné technologické know-how priamo pre pilotnú linku.

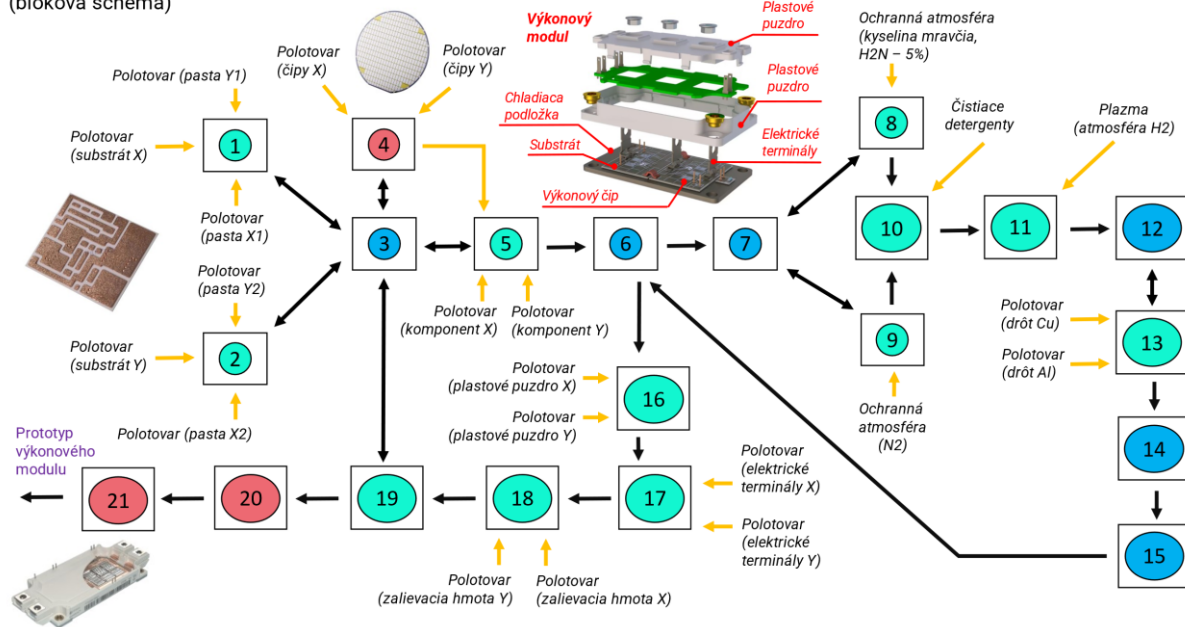
To, čo robí túto pilotnú linku unikátnou v porovnaní s inými výskumnými zariadeniami, je spôsob prístupu k technologickým procesom a metódam. Kláť sa bude dôraz na vysokú úroveň prepojenia a adaptabilitu celého systému. Cieľom je vytvoriť čo najširšie technologické zázemie pre vývoj a testovanie puzdrenia inteligentných výkonových polovodičov. Tie budú založené najmä na heterogénnej integrácii a čipletových architekturách, ktoré budú vhodné pre aktuálne aj budúce inovácie s dlhodobou perspektívou, až na 15 – 20 rokov dopredu.

## II. Čiastočná a decentralizovaná technologická infraštruktúra – Výskumné inštitúcie) (bloková schéma)



Obr. č. 1 Súčasný stav: Bloková schéma technológií, rozptýlených v rôznych vedecko technických inštitúciách a univerzitných výskumných pracoviskách v BSK (bez možnosti dosiahnutia komplexného výsledku s uplatniteľnosťou v aktuálnom stave problematiky vo svete).

## I. Komplexná a centralizovaná technologická infraštruktúra - Pilotná linka) (bloková schéma)



Obr. č. 2: Navrhovaný stav: Bloková schéma komplexnej a centralizovanej technologickej infraštruktúry pomocou ktorej je možné dosiahnuť komplexného výsledku s uplatniteľnosťou v aktuálnom stave problematiky vo svete

**Vysvetlenie k obrázkom:**

Obrázok č. 2 reprezentujúci komplexnú a centralizovanú technologickú infraštruktúru pilotnej linky zobrazuje technologické zariadenia, procesy a metodiky, ktoré sú nevyhnutné pre realizovanie kvalitného výskumu v oblasti skladania výkonových polovodičových modulov. V porovnaní s obrázkom č. 1, kde je zobrazená čiastočná decentralizovaná technologická infraštruktúra, ktorá je svojim fungovaním blízka práve v existujúcich výskumných inštitúciách je vidieť signifikantný rozdiel, v počte technologických zariadení a procesov. Tento signifikantný rozdiel je rozdielom, ktorý je hranicou umožňujúcou realizovať špičkový výskum na zahraničnej úrovni. Toto porovnanie okrem iného poukazuje aj na náročnosť a komplikovanosť realizácie výskumných úloh ak prebiehajú v réžii súčasných výskumných inštitúcií. V rámci pilotnej linky je celá technologická infraštruktúra situovaná na jednom mieste, čo prináša veľmi veľkú úsporu v čase, finančných prostriedkoch, dosiahnuteľnosti a opakovateľnosti špičkových výsledkov. Zároveň sa aj výrazným spôsobom znižuje riziko chýb v rámci technologických procesov a možných kontaminácií, čo môže byť spôsobené častým presunom medzi rôznymi vzdialenými pracoviskami. Je vhodné aj uviesť ako môžeme vidieť na obrázku xx, ktorý nám zobrazuje porovnanie základných typov integrácií, že v prípade pilotnej linky je možné realizovať už veľmi moderné a pokročilé technológie ako je hybridná a heterogénna integrácia.

V prípade výskumných inštitúcií je mnoho technologických zariadení situovaných na rôznych pracoviskách, v rôznych inštitúciách a pomerne často sú tieto inštitúcie od seba vzdialené. Mnohé komplikácie ako je nekompatibilita technologických rozhraní technologických zariadení, iné technologické nastavenia, časová nedostupnosť a podobne spôsobujú že výskumné aktivity v oblasti inteligentných výkonových polovodičových modulov nie je možné efektívne realizovať. Z tohto dôvodu je potom možné ostať len pri realizácii jednoduchých technologických integrácií a to tiež iba v obmedzenom režime s mnohými komplikáciami.

Tieto uvedené aspekty majú vo výsledku negatívny vplyv prípade uchádzania sa o spolupráce so zahraničnými konzorciami.

### **Porovnanie základných typov integrácií v rámci výkonových polovodičových modulov**

Na obrázku č. 3 interpretujúcom ukážku porovnania základných typov integrácií, je možné vidieť akým technologickým spôsobom a náročnosťou sa jednotlivé integrácie od seba odlišujú. Jednoduchá integrácia je realizovateľná aj v rámci existujúcich výskumných inštitúcií na Slovensku, no je to veľmi komplikované najmä z hľadiska logistiky zabezpečenia technologických procesov. V prípade pokročilých procesov integrácie ako je hybridná a heterogénna integrácia je prakticky nemožné realizovať výskumné aktivity na potrebnej úrovni v podmienkach existujúcich inštitúcií pre nedostatok potrebných technologických zariadení a nevyhnutné procesy automatizácie, ktoré sú kritickým bodom pre dosiahnutie úspešných výsledkov. Pokročilé integračné procesy je možné realizovať v plnom rozsahu a na vysokej výskumnej aj aplikačnej úrovni v prípade pilotnej linky a to ako technologického komplexu, ktorý v dostatočnej miere pokrýva potrebné technológie na jednom mieste.

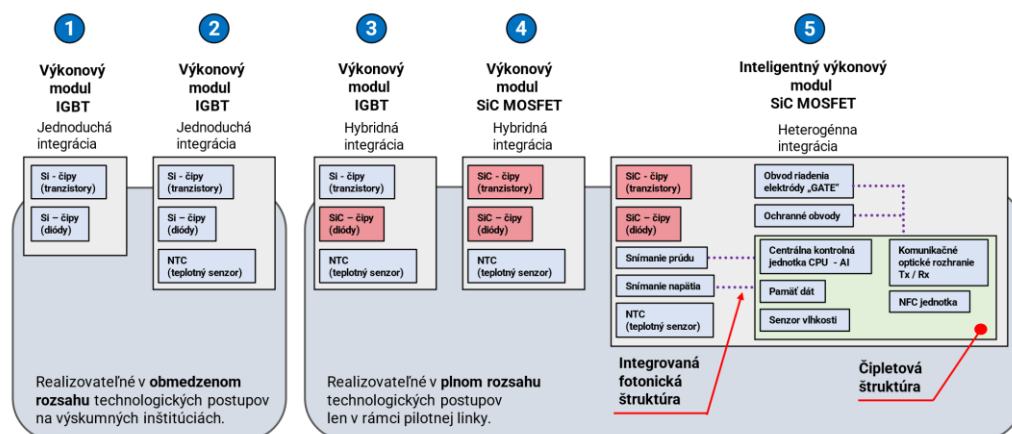
Heterogénna integrácia zohráva kľúčovú úlohu pri inováciách v oblasti púzdrenia výkonových polovodičových modulov. V súčasnosti predstavuje jediný reálny spôsob, ako do týchto modulov integrovať inteligentné a kognitívne funkcie. Posledné roky jednoznačne potvrdzujú, že práve tento prístup je smerodajný pre ďalší vývoj v tejto oblasti.

Heterogénnou integráciou je možné vytvoriť hybridné štruktúry výkonových polovodičových modulov, ktoré kombinujú rôznych dodávateľov jednotlivých komponentov, prípadne čipletov.

Tieto komponenty, či štruktúry sú vyrábané rôznymi výrobnými technológiami a sú z rôznych materiálov, ktoré by za normálnych okolností nebolo možné vyrobiť ako jeden celok (System on Chip - SoC), z dôvodu, že technologické procesy a materiály nie sú vzájomne kompatibilné. Ako je možné vidieť, heterogénna integrácia otvára nové možnosti, ktoré prinášajú enormné množstvo výhod pre výkonové polovodiče, či už je to v zmysle nárastu výkonovej hustoty, dosahovaniu vyšších pracovných napätí a prúdov, zabezpečenia efektívnejších ochranných prostriedkov s veľmi krátkymi reakčnými dobami, inteligentných riadiacich obvodov, snímaním pracovného prúdu, detektormi poruchových stavov a podobne. Tieto uvedené výhody vo výsledku zabezpečujú vynikajúcu stabilitu, spoľahlivosť a vysokú energetickú účinnosť v systémoch, kde sa nasadzujú, čo je kľúčové a významné najmä v oblastiach energetiky, priemyslu, armády, letectva, alebo medicíny, ktoré tvoria kľúčové segmenty kritickej infraštruktúry.

Významným a veľmi pozitívnym aspektom aplikácie heterogénnej integrácie je aj výrazné zjednodušenie technologickej náročnosti v oblasti návrhu jednotlivých štruktúr z pohľadu front-end, kedy nie je potrebné všetky prvky a štruktúry vytvárať technológiami a materiálmi medzi sebou kompatibilnými, čo šetrí nie len čas z hľadiska návrhu, ale vo veľkej miere aj finančné prostriedky. Pridanou hodnotou je aj veľká variabilita a modularita z pohľadu dodávania jednotlivých komponentov a štruktúr od rôznych výrobcov, čím je zabezpečená spoľahlivosť a stabilita pri dodávateľských reťazcoch.

#### Porovnanie základných typov integrácií v rámci výkonových polovodičových modulov



Obrázok č. 3 grafickej interpretácii rozdielov medzi jednotlivými typmi integrácií + zobrazenie náročnosti a komplexnosti so zameraním na decentralizáciu riešenia.

Veľkú úlohu pri výskume, vývoji a úspešnej aplikácii heterogénnej integrácie zohrávajú práve výskumné inštitúcie, ktoré na tieto aktivity potrebujú mať dostupnú kvalitnú technologickú infraštruktúru. Táto skutočnosť odhaľuje, že v prípade zavádzania heterogénnej integrácie do technologických procesov, je dôležité, aby bola pilotná linka už od svojho návrhu orientovaná na tento účel a vhodne technologicky, infraštruktúrne a priestorovo koncipovaná.

V prípade výskumných inštitúcií na Slovensku, kde sa robí dlhodobý základný výskum orientovaný na oblasť výkonovej elektroniky, v ponímaní výkonových polovodičových štruktúr, čipov a modulov, je veľmi často limitujúcim faktorom značná nekomplexnosť, ako aj veľmi nízka variabilita technologických zariadení a vybavenia pre účely púzdrenia. Hlavným dôvodom je, že výskumné inštitúcie na Slovensku sa v minulých desaťročiach vo väčšej miere nezameriavali na oblasť inteligentných výkonových modulov. V dôsledku toho v tejto oblasti neprebíhali ani významnejšie investície. Výsledkom je, že mnohé výskumné pracoviská dnes nedisponujú technologickými zariadeniami a vybavením, ktoré je potrebné na realizáciu procesov spojených s púzdrením inteligentných výkonových polovodičových štruktúr.

Aj v prípadoch, keď niektoré výskumné inštitúcie na Slovensku disponujú technologickým vybavením či infraštruktúrou pre túto oblasť, ide vo väčšine prípadov o staršie zariadenia s obmedzenými možnosťami využitia. Takáto infraštruktúra nedosahuje potrebnú úroveň rozsahu, variability ani technickej kvality, aby mohla podporovať moderný výskum a vývoj na úrovni, akú si vyžadujú európske pilotné linky.

V prípade plánovanej pilotnej linky je prístup zameraný na komplexnosť, variabilitu a dosiahnutie nových i výrazne náročnejších technologických procesov a metodík, ktoré poskytujú možnosti dosahovania lepších úrovní elektrických, tepelných, mechanických a mnohých ďalších fyzikálnych parametrov inteligentných výkonových modulov. Z hľadiska pilotnej linky ako celku, nie je kľúčovým parametrom dosiahnutie vysokej výrobných rýchlostí v čo najkratšom čase (tzv. throughput), ako to býva pri priemyselných výrobných linkách. Z pohľadu automatizácie technologických procesov, je taktiež možné pozorovať významné rozdiely v dosahovaní kvality technologických procesov, predovšetkým dodržiavaním presne definovaných metodík. To výrazne prispieva ku zvyšovaniu kvality predmetného výskumu, založenom na následných procesných optimalizáciách (čas, energetická, materiálová efektívnosť a zníženie chybovosti procesov) s výsledkami v podobe vysokej opakovateľnosti. Výskumné inštitúcie zaoberajúce sa s výkonovými polovodičovými technológiami na Slovensku, nemajú žiadnym spôsobom riešené ani nasadené automatizačné linky pre oblasť púzdrenia a taktiež neprebíha ani výskumná aktivita v tomto smere. Táto skutočnosť je značným problémom, ktorý neumožňuje dosahovať a realizovať zložité technologické procesy ako je práve heterogénna integrácia, kde je nevyhnutné dodržiavať presné metodiky technologických procesov v zmysle dosiahnutia definovaných parametrov technickými normami.

Pod pojmom automatizácie linky pre výrobu inteligentných polovodičových modulov, je možné si predstaviť napríklad 6-osé roboty, lineárne aktuátory, transportné systémy a podobne. Tieto prvky automatizácie majú za účel, aby vykonávané technologické procesy a metodiky spĺňali prísne štandardy a normy, vďaka čomu sa bude dať dosiahnuť požadovaná presnosť, opakovateľnosť a výťažnosť. Prvky automatizácie v rámci pilotnej linky, vzájomne prepájajú rôzne technologické zariadenia danej manipulačnej platforme a umožňujú tak plne autonómny presun polotovarov a materiálov naprieč definovanými technologickými procesmi.

Ak by chcela výskumná inštitúcia robiť výskumné a experimentálne aktivity v rámci už existujúcich priemyselných liniek, nebolo by to možné, pretože je veľmi náročné a finančne neefektívne meniť a prestavovať už existujúcu automatizovanú linku, za účelom otestovania nových technológií a procesných metodík (automatizovaná linka by sa musela na istú dobu odstaviť, čo by malo automaticky za následok finančný výpadok a ohrozenie zakontrahovaných dodávok produktov priemyselného partnera). V mnohých prípadoch sa

používajú v priemyselných linkách taktiež uzavreté platformy automatizačných systémov, ktoré neumožňujú širšie možnosti variácií a kombinácie s novými automatizačnými prvkami a platformami za účelom výskumu nových metodík, procesov a optimalizácie.

Navrhovaná Pilotná linka bude po stránke automatizácie schopná dosiahnuť pomerne široké experimentálne a výskumno-aplikačné možnosti, nakoľko sa budú nasadzovať otvorené platformy umožňujúce rôzne kombinácie a nadstavby systémových riešení od rôznych výrobcov. V prípade pilotnej linky nie je problém kedykoľvek už existujúci automatizovaný technologický proces pozastaviť a prestaviť bez toho, že by prišlo k finančnej strate, či ohrozeniu zakontrahovaných dodávok produktov. Cieľom automatizačných procesov v rámci pilotnej linky je poskytnúť možnosti, ako zvládnuť aj veľmi náročné výrobné procesy a metodiky. Akékoľvek výskumné inštitúcie so zameraním na rôzne oblasti svojho výskumu púzdrenia rôznych polovodičových platforiem výkonových modulov, ako Si, SiC alebo GaN, budú mať možnosť si otestovať na pilotnej linke rôzne technologické procesy a inovácie bez toho, aby museli žiadať o pomoc priamo priemyselných partnerov. Zároveň sa slovenským výskumným inštitúciám prostredníctvom pilotnej linky ponúkajú nové možnosti a spôsoby, ako sa zapájať do veľkých medzinárodných výskumných projektov a konzorcií a priťahovať tak aj zahraničné investície do výskumu v oblasti púzdrenia výkonových polovodičových modulov.

Pilotná linka pre púzdrenie a aplikačné testovanie výkonových polovodičových modulov predstavuje komplexný systém vybavený technologickými zariadeniami, ktoré umožňujú realizáciu náročných výrobných procesov. Jej hlavným cieľom je podporiť aplikačný výskum v prospech slovenských výskumných inštitúcií. Proces pú

zdrenia výkonových modulov je mimoriadne zložitý a zahŕňa celý rad presných krokov – od manipulácie s holými čipmi až po finálne testovanie hotového modulu. Technologické postupy sú zamerané na zabezpečenie vysokej kvality v kľúčových oblastiach, ako sú tepelný manažment a elektrická integrita. Tieto parametre sú zásadné pre spoľahlivosť výkonových modulov, ktoré majú byť po ukončení výskumu nasadené v priemyselnej praxi ako finálne produkty.

Technologické procesy, ktoré budú vykonávané v rámci plánovanej pilotnej linky je možné rozdeliť do piatich hlavných kategórií, ako je: zostavovanie, inšpekcia, charakterizácia, testovanie inteligentných výkonových polovodičových modulov a automatizačné procesy. Hlavnou kategóriou výrobných technologických procesov je zostavovanie, kde v rôznych miestach do týchto procesov vstupujú inšpekčné a charakterizačné technologické procesy, ako kontrolný medzičlánok. Samotné testovanie výkonových modulov prostredníctvom nasadenia v koncovej aplikácii je vždy poslednou doménou pre verifikáciu vybraných vyrobených experimentálnych vzoriek alebo prototypov.

1. V prípade procesov zostavovania modulov, je táto kategória tvorená výrobnými procesmi ako je nanášanie spájkovacej pasty, osádzanie výkonových čipov a podporných súčiastok, spájkovanie v pretavovacej peci, spekanie v spekacom lise, chemické čistenie detergentami, plazmatické čistenie, bondovanie a zváranie elektrických kontaktov, zalievanie gélu, zapuzdrenie, formovanie a strihanie pinov.

Technologické zariadenia a systémy zastrešujúce kategóriu skladania inteligentných výkonových polovodičových modulov:

1. Tlačiarne spájkovacej pasty a spekacej pasty s príslušenstvom

2. Osádzacie automaty polovodičových čipov a podporných súčiastok s príslušenstvom
  3. Vákuové, konvekčné a infra pretavovacie pece spájkovacej pasty s príslušenstvom
  4. Sintrovacie systémy spekacej pasty v prevedení tlakové a beztlakové s príslušenstvom
  5. Umývacie čistiace linky na báze vodných alkalických detergentov s príslušenstvom
  6. Plazmatické čistiace systémy s príslušenstvom
  7. Automatizované nanášacie systémy lepidiel a tmelov s príslušenstvom
  8. Kontaktovacie a zváracie systémy s príslušenstvom
  9. Priemyselné sušiacie pece s ochrannou atmosférou s príslušenstvom
  10. Lisovacie systémy púzdrenia formou granulátov (Molding) s príslušenstvom
  11. Systémy formovania a strihania kontaktov, pinov a terminálov s príslušenstvom
  12. Laserové popisovacie, gravírovacie a rezacie systémy s príslušenstvom
  13. Frézovacie systémy pre úpravy substrátov s príslušenstvom
2. Kategória inšpekcie obsahuje procesy ako je optická kamerová inšpekcia, optická profilometria, röntgenová tomografia, skenovacia akustická mikroskopia, elektrónová mikroskopia, ťahové testy bondovaných a zváraných spojov a podobne.

Technologické zariadenia a systémy zastrešujúce kategóriu inšpekcie inteligentných výkonových polovodičových modulov:

1. Systémy optickej kamerovej inšpekcie s príslušenstvom
  2. Systémy optickej profilometrie s príslušenstvom
  3. Systémy optickej mikroskopie
  4. 3D CT röntgenové tomografy s príslušenstvom
  5. Skenovací akustický mikroskop s príslušenstvom
  6. Skenovací elektrónový mikroskop s príslušenstvom
  7. Testovací systém pevnosti zváraných spojov s príslušenstvom
3. Kategória charakterizácie pozostáva z procesov ako je elektrická charakterizácia výkonových čipov, elektrická charakterizácia výkonových modulov, tepelná charakterizácia, infračervená termografia (termovízia), výkonové cyklovanie.
- Technologické zariadenia a systémy zastrešujúce kategóriu charakterizácie inteligentných výkonových polovodičových modulov:
1. Kontaktovacie hrotové automatizované stanice s príslušenstvom
  2. Automatizovaný systém testovania polovodičových čipov s príslušenstvom
  3. Automatizovaný systém testovania polovodičových výkonových modulov s príslušenstvom
  4. Systém tepelnej charakterizácie s príslušenstvom
  5. Systém dynamických spínacích parametrov s príslušenstvom
  6. Systémy elektrickej izolačnej pevnosti s príslušenstvom
  7. Systémy výkonového cyklovania s príslušenstvom
  8. Systémy ochranných a bezpečnostných zábran, klietok a krytov s príslušenstvom

4. Predposlednou kategóriou je testovanie výkonových modulov formou aplikačného nasadenia v reálnych systémoch ako sú prototypy spínacích zdrojov a meničov, kde je možné vidieť a sledovať zmeny všetkých dôležitých parametrov výkonových modulov v praktickom nasadení.
  1. Digitálne osciloskopy s príslušenstvom
  2. Generátory priebehov s príslušenstvom
  3. Výkonové laboratórne zdroje s príslušenstvom
  4. Osciloskopické sondy s príslušenstvom
  5. Výkonové záťažové systémy s príslušenstvom
  6. Digitálne multimetre s príslušenstvom
  7. Spektrálne a vektorové analyzátory s príslušenstvom
  8. Sieťové analyzátory s príslušenstvom
  9. Výkonové analyzátory s príslušenstvom
  10. Testovacie laboratórne platformy s príslušenstvom
  11. Testovacie lavice s príslušenstvom
  12. Systémy elektromagnetickej kompatibility s príslušenstvom
  13. Spájkovacie ručné systémy s príslušenstvom
5. Posledná kategória je automatizácia technologických procesov, ktorá prepája vybrané technologické zariadenia a zabezpečuje dosiahnutie požadovaných presností a opakovateľnosti vo vykonávaných procesoch. Automatizačná časť pilotnej linky bude prevažne tvorená prvkami ako sú 6-osé roboty, lineárne aktuátory, transportné systémy, dopravníkové systémy, podávače, dávkovacie systémy.