Kontaktperson RISE
Tomas Westlund/Duncan Platt
Digitala system
tomas.westlund@ri.se/
duncan.platt@ri.se



# Slutrapport för projektet Rulle-till-Rulle Hybrid Tryckt Elektronik Tillverkning. (R2R-HET)

**VINNOVA-diarienummer 2024-00599**

## Inledning

Denna rapport är en slutrapport för projektet Rulle-till-Rulle Hybrid Tryckt Elektronik Tillverkning. (R2R-HET) som finansierats av Vinnova och det strategiska innovationsprogrammet Smartare Elektroniksystem. I rapporten redovisas projektgenomförandet, projektresultat och planerat arbete framåt.

### Bakgrund och beslut från VINNOVA

RISE har under sitt långvariga arbete med tryckt elektronik och nya innovativa substrat identifierat ett glapp mellan vad som är tekniskt möjligt och vad som faktiskt är tillgängligt som industriell tillverkningskapacitet för flexibel elektronik. Efter att ha genomfört en mindre förstudie på området ansökte man därför tillsammans med åtta industriella aktörer om stöd från Smartare elektroniksystem att undersöka förutsättningarna för att ta fram ett kostnadseffektivt koncept för elektroniktillverkning med flexibla substrat.

Vinnova beslutade våren 2024 att stödja projektet med 2,3 MSEK.

### Sammanfattning

Det övergripande syftet med genomförandeprojektet var att ta fram och validera ett koncept för en komplett state-of-the-art tillverkningslina för rulle-till-rulle produktion av flexibel hybrid tryckt elektronik.

Projektet undersökte följande produktionssteg som tillsammans utgör de viktigaste stegen i en produktionslina för rulle-till-rulle produktion:

- Deponering av lim/lod
- Pick and Place -placering av komponenter
- Löd- och härdningsprocess
- R2R-teknik

Projektet kunde testa och föreslå utrustning för samtliga steg:

- Deponering av lim/lod från Mycronix
- Pick and place från db-matik
- Fotonisk lödning från Pulseforge
- R2R-teknik från db-matik

Projektet undersökte också hur lågtemeperatursubstrat och värmekänsliga komponenter kan hanteras och drog den preliminära slutsatsen att fotonisk lödning är en möjlig teknik för detta.

Vidare genomförde man leverantörsbesök och kunskapshöjande aktiviteter.

## Genomförande och ekonomi

Projektet startade med nio parter, men redan tidigt i starten valde Magna att avsluta sitt deltagande i projektet. Kvarvarande parter (huvudsakligen RISE) absorberade Magnas roll och bidrag i projektet och därmed kunde projektet ändå genomföras som planerat.

Följande parter deltog i projektet:

- RISE Research Institutes of Sweden AB
  Forskningsinstitut med med lång historia inom forskning kring tryckt elektronik och huvudman för Printed Electronics Arena i Norrköping.
- DP Patterning AB
  Levarantör av torrmönstrade flexibla mönsterkort på rulle med djupa kunskaper inom rulle-till-rulle-teknik.
- Beneli AB
  Tillverkare av tryckt elektronik, tryckta mönsterkort och produkter baserade på den här tekniken.
- Actia EMS Sweden AB
  En kontraktstillverkare av elektronik med rötterna i mobiltelefonproduktion.
- Mycronic AB
  Tillverkare av maskiner för elektronikproduktion.
- Ligna Energy AB
  Komponentleverantör av flexibla miljövänliga senergilagringslösningar.
- Epishine AB
  Komponentleverantör av miljövänliga flexibla PV-celler.
- Linköping Science Park AB
  Innovationssystemaktör med lång erfarenhet av teknikbranchen och teknisk kommunikation.

Tillsammans bildar dessa parter en värdekedja från substrat och komponenter via utrustningstillverkare och EMS-företag hela vägen till produkter och produktägare, samtidigt som forskning och innovationsekosystemet bidrar med sina delar. Projektet genomfördes dessutomi samarbete med IoT World, ett kompetenskluster inom uppkopplad teknik som drivs av Linköping Science Park, RISE och Linköpings universitet.

Projektets parter medfinansierade projektet med ytterligare 2,3 MSEK.

Projektet genomfördes i huvudsak enligt plan, men förlängdes tre månader för att hinna med alla planerade aktiviteter.

# Rapportering av projektaktiviteter

## Tidplan och huvudsakliga aktiviteter

Projektet planerades ursprungligen till 18 månader, men förlängdes senare med tre månader. De huvudsakliga aktiviteterna samlades i 7 arbetspaket (AP):

- AP1 Tillverkning av flexibla mönsterfolier
- AP2 Deponering lim/lod
- AP3 Pick and place
- AP4 Lödning/härdning
- AP5 R2R-process
- AP6 Kommunikation
- AP7 Projektledning

Tidplanen såg ut enligt följande (efter projektförlängning):

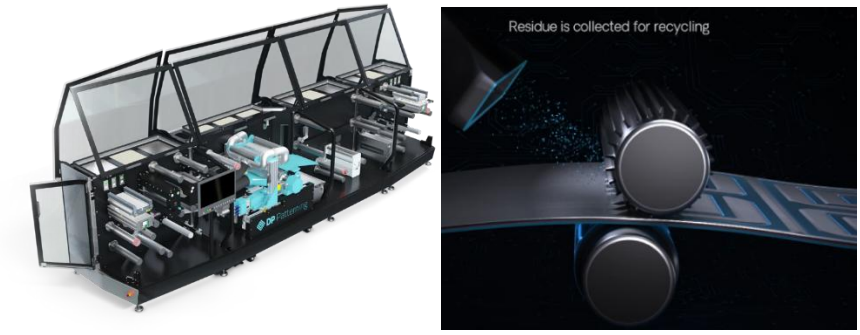
| | 2024 | | | 2025 | | | | 2026 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 |
| AP1 | | | | | | | | | |
| AP2 | | | | | | | | | |
| AP3 | | | | | | | | | |
| AP4 | | | | | | | | | |
| AP5 | | | | | | | | | |
| AP6 | | | | | | | | | |
| AP7 | | | | | | | | | |

*Figur 1 Tidplan*

## Ledarmönstring för tillverkning av flexibla mönsterfolier (AP1)

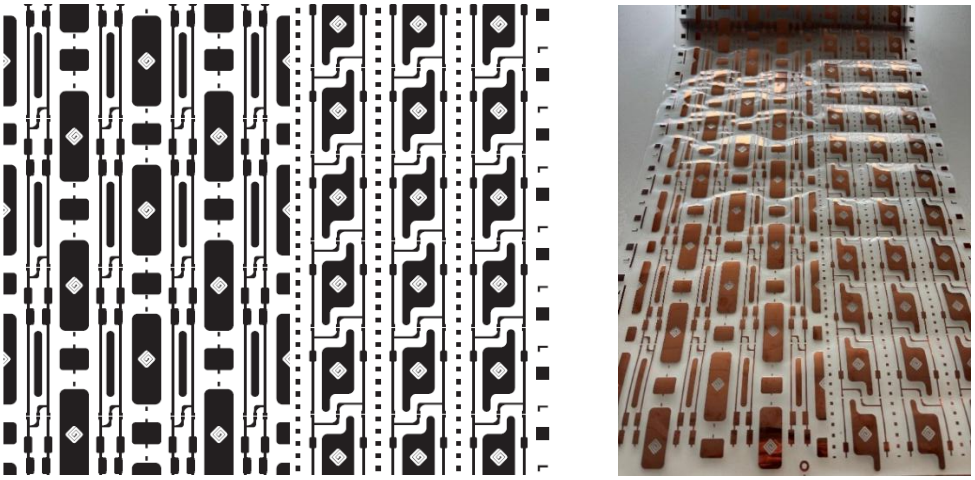
### Torrmönstrad teknik

DP-Patterning har en unik torrmönstrings metod för tillverkning av flexibel elektronik. Med ett fräsverktyg mönstras metallfolien till det önskade mönstret. Linjebredder ner till 300µm och gap på 100µm är i dagsläget möjligt att åstadkomma med processen. Då det är en mekanisk torrmönstring så behövs inga kemikalier i processen. Detta gör att det i jämförelse med etsning så görs stora miljömässiga besparingar. Fraunhofer Institut har jämfört etsning och torrmönstringsmetoden och har i en studie kommit fram till att man sparar upp till 98% i $CO_2$ avtryck med torrmönstringsmetoden. Då processen är rulle till rulle så erbjuder den även en storskalig produktion.




*Figur 2. Vänster: Rulle till rulle maskin för torrmönstring. Höger: Mekanisk process för att mönstra laminatfolien.*

I detta projekt mönstrades kopparbelagd aluminium (CCA). 9µm aluminium är belagd med 150nm koppar för att möjliggöra lödning. CCA materialet är laminerat på en extra värmestabiliserad PET för att möjliggöra temperaturer upp till 170°C. Mönstringen av folien är gjord rulle till rulle vid en hastighet av 20m/min. Två olika mönster tillverkades för utvärdering av montering av Epishine solceller samt Lignas superkapacitanser, se bild nedan.



*Figur 3. Vänster; Design av mönster för montering av Ligna superkapacitanser och Epishine solceller. Höger; visar en mönstrad folie.*

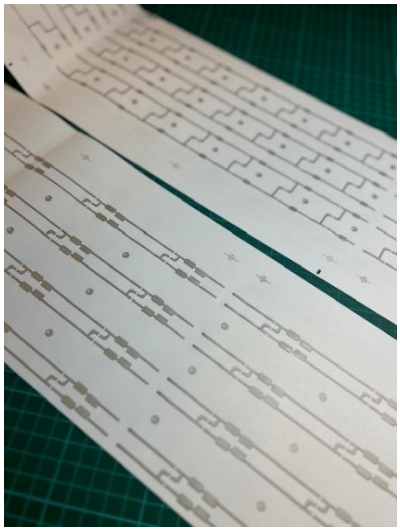
## Tryckteknik

Beneli har haft rollen som industriell kravställare i projektet och har bidragit med praktisk expertis inom tryckt elektronik, tillverkningsprocesser och industrialisering. Genom sitt deltagande har Beneli säkerställt att utvecklingsarbetet har utgått från relevanta industriella behov och krav kopplade till framtida produktion, funktionalitet och skalbarhet.

Som en central del av projektets tekniska arbete har Beneli tillverkat en screentryckt rulle innehållande ledarbanor av kol och silverbaserade ledande bläck. Utgångspunkten för tillverkningen var en design framtagen av DPP, vilken Beneli anpassade till en mesh-baserad layout som lämpar sig för industriell screentrycksproduktion.

Tryckningen utfördes på ett förkrympt PET-substrat med hjälp av Benelis industriella screentrycksmaskin. Genom att använda ett förkrympt substrat kunde de tryckta ledarbanornas geometri och funktion verifieras under förhållanden som är representativa för den avsedda slutprodukten.

Tillverkningen resulterade i en kontinuerlig rulle med tryckta kol- och silverledarbanor, utformade för att möjliggöra pålödning och integrering av elektroniska komponenter. Den framställda rullen utgjorde ett viktigt underlag för projektets fortsatta utvecklings- och verifieringsarbete.



*Figur 4 Screentryct mönsterkort från Beneli*

Arbetet har bidragit till att demonstrera möjligheten att kombinera avancerad design med industriell rull-till-rull-baserad screentrycksteknik för framställning av funktionella elektroniska strukturer. Resultaten har även gett värdefull kunskap kring producerbarhet, materialval och integrationsmöjligheter, vilket skapar förutsättningar för framtida industrialisering och kommersialisering av teknologin.

## Deponering lim/lod (AP2)

De automatiseringsverktyg som Mycronic tillverkar är anpassade för den kontemporära kretskorts tillverkningen som innefattar materialdeposition, optisk inspektion, placering av komponenter och den tillhörande mjukvarustyrningen av hela processen. Denna process är baserad en stegvis frammatning av enskilda kretskort längs ett konveyerband via ett antal av de ovannämnda monteringsstegen.

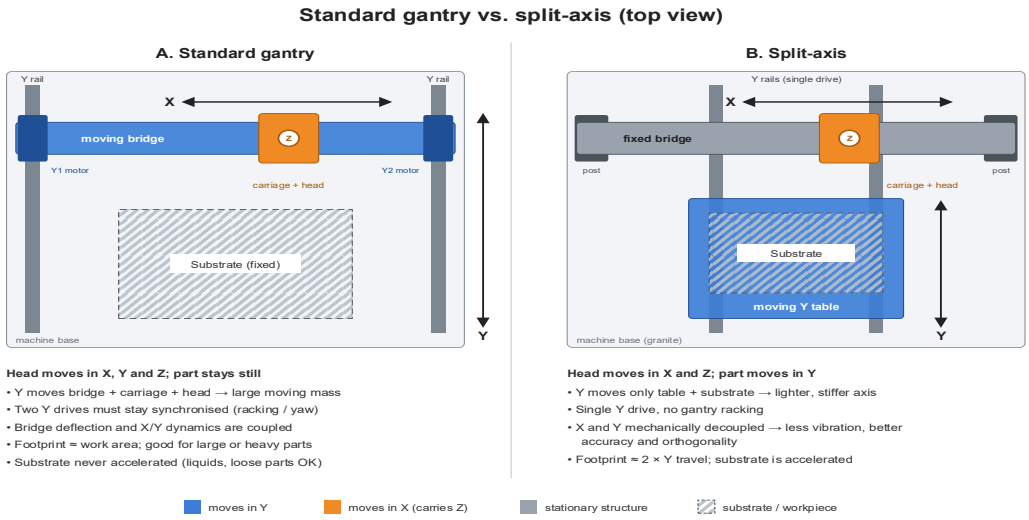
För att undersöka möjligheterna med att implementera kontaktfri jetdispensering av material för R2R-tillämpningar har Mycronic kommunicerat med projektets parter för att insamla information om specifikationer för arbetet. Detta inkluderar

1. depositionsspecifikationer i form av målvolymer och positioneringsnoggranhet
2. materialspecifikationer med avseende på viskositet, livslängd, partikeltäthet
3. substratval och dess egenskaper i form av ytjämnhet, absorption et cetera

### Kontinuerligt substrat

En tydlig skillnad för den föreslagna processen är hanteringen av ett kontinuerligt substrat i systemet. För den kontaktfria jetdispenseringen introducerar detta krav inga fundamentala hinder då systemet är baserat på ett gantry-system där substrat är fixt i en egen referensram i maskinen medan dispenseringshuvudet rör sig i x, y, och z-riktningar för att placera material på rätt position på substratet och även hantera ojämnheter i substratet. Med ett substrat som består av en kontinuerlig rulle av material kan man flytta fram substratet inkrementellt och dispensera ett delmönster åt gången. Ett alternativ är att implementera ett kontinuerligt frammatande av substratet, vilket bär med sig ett betydande utvecklingsarbete för att kompensera dispenseringshuvudets rörelse med avseende på substratets rörelse.

För hybridprodukter där allt inte kan tryckas på substratet är monteringen av komponenter, sensorer och dylikt ett viktigt processteg. Hanteringen av kontinuerliga substrat med Mycronics pick-and-place-maskiner är inte möjlig på grund av den split-axis-lösning som används, där substratet förflyttas i y-led, medan placeringen av komponenter sker med verktyg som rör sig enbart i x-led, se Figur 5.




*Figur 5 Jämförelse av ett gantry system som lämpar sig för kontinuerliga substrat och ett split-axis-system som inte kan hantera sådana substrat (AI-genererat av författaren).*

Arbetet i projektet har resulterat i ett fördjupat samtal internt om behovet av att arbeta vidare med befintliga gantry-baserade plock-och-placerar-robotar för dessa tillämpningar.

## Modifierad demonstrator

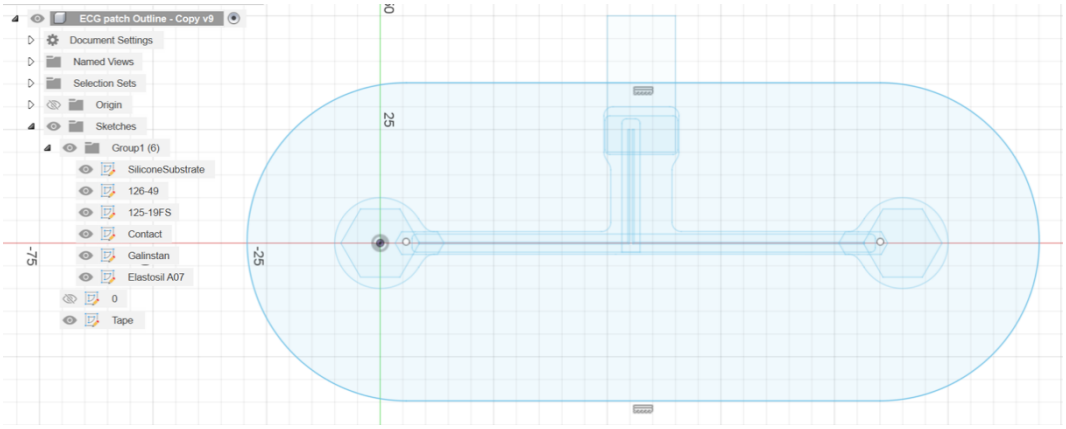
För att testa strategierna som hade diskuterats i projektet valde vi att testa strategierna med en modifierad demonstrator som lämpar sig för rulle-till-rulle-tillverkning. Ett existerande design för ett stelt, men flexibelt, elektrokardiogramkrets fick stå som testobjekt. Istället för ett äkta rulle-till-rulle-arbete, har vårt arbete haft som mål att etablera att arbetsmomenten kan ske med lämpliga substrat, material och monteringsprocesser.

### Mönsterbeskrivning

Det plåster som utgjorde grunden för arbetet hade flera tillverkningssteg, men vår fokus kommer att ligga på nedanstående steg.

1. Förberedelse av substrat
2. Dispensering av supportmaterial
3. Placering av kontakt
4. Dispensering av interkonnektmaterial
5. Dispensering av täckmaterial

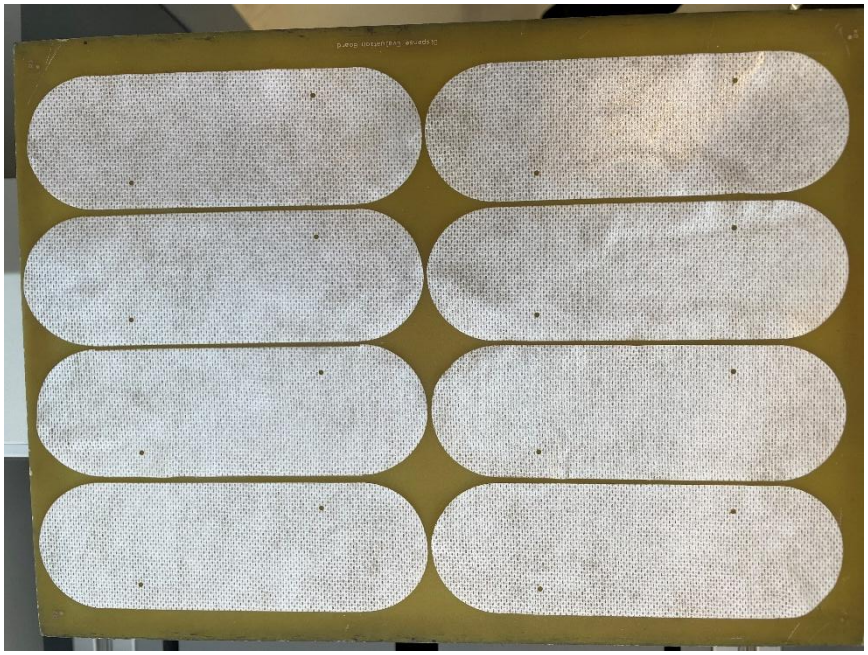
En schematisk beskrivning av plåstret kan ses i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 6 Schematisk beskrivning av plåstret med alla lager.*

### Förberedelse av substrat

Substratet bestod av utskurna områden av 3M 1776 tejp (3M, Minnesota, U.S.A.) med fiducialer som tillverkas med hjälp av en laser-skärare. De utskurna delsubstraten placerades på ett standard FR4-substrat (DispEval-platta) som fick agera carrier. DispEval-plattan är 230 x 317 mm och har fyra stycken 1 mm fiducialer, se Figure X. The tapes will be removed during the final packaging step. The prepared substrate cutouts would in an extension be prepared by a substrate provider and delivered to DFE for the actual board assembly process. A photograph of prepared substrate is shown in **Error! Reference source not found.**.

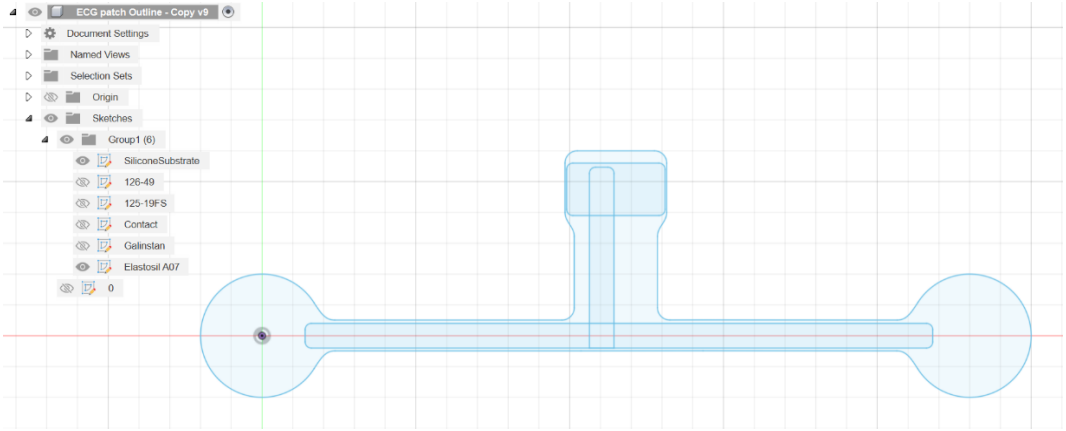


*Figur 7 Foto av DispEval-plattan med åtta delsubstrat.*

### Dispensering av supportmaterial

Stödlagret applicerades med jetdispensering Graco HV-2000 jet ejector (Graco, USA). Supportlagret som består av Elastosil har till uppgift att skapa ett begränsningslager som hindrar diffusion in i underlaget. Det utgör samtidigt en struktur som utgör som en ränna för det ledande materialet att ligga i och hindra spridning av det lågviskösa vätska i sid led. Strukturen förbättrar den elektrisk pålitligheten av produkten. Samtidigt är det viktigt att

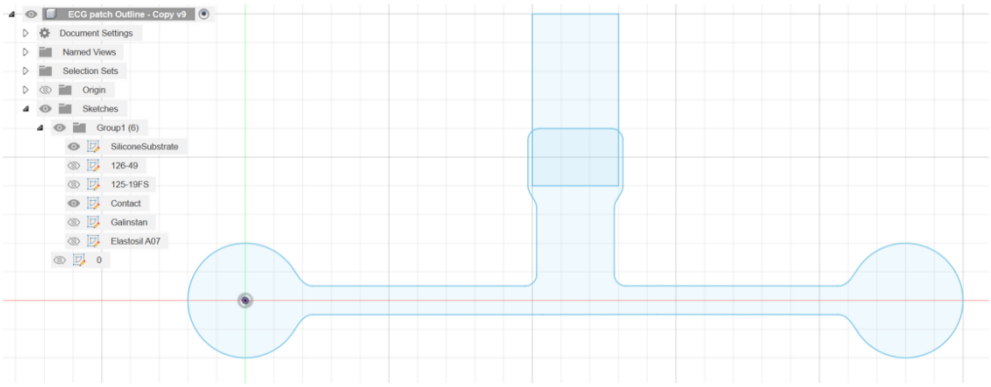
minimera mängden material som används för att hålla strukturtjockleken låg för att maximera komfort hos användaren. En grafisk beskrivning av mönstret för dispensering av silikonunderlaget syns i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 8 Grafisk beskrivning av mönstret för dispensering av silikonunderlaget.*

### Placering av kontakt

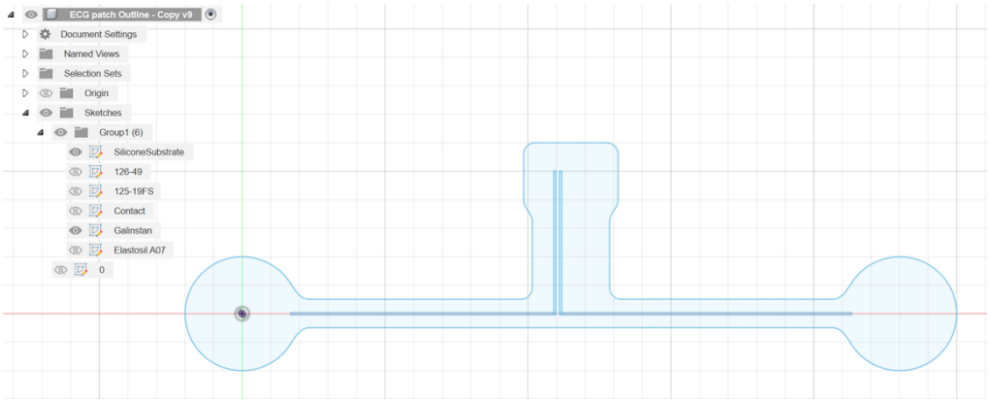
FFC-kontakten placerases på substraten med en MY300 plock-och-placerar-robot (Mycronic AB, Sverige). Placeringen av kontakten sker efter underlaget både för att erbjuda adhesion till underlaget, men även för att ha kontakten på plats för att sedan skapa kontakt med interkonnektmaterialet. En grafisk beskrivning av placeringen av FFC-kontaktenfinns i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 9 Grafisk beskrivning av placeringen av FFC-kontakten.*

### Dispensering av interkonnektmaterial

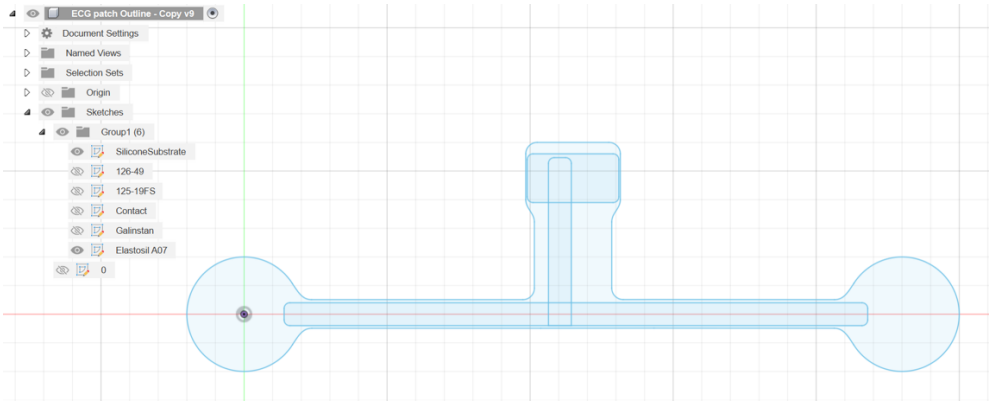
Nästa steg var att dispensera ett ledande material för interkonnektlinjerna mellan elektroder och kontakten. Flera olika material skulle kunna användas till interkonnektlinjerna. Bland valmöjligheterna som kol-baserade och silver-baserad ledande limmer, föll valet på denna demonstrator på en flytande metall (LMA, eller liquid metal alloy). Den kontaktfria dispenseringen skedde med HV-2000b jetejektor (Graco, USA). En grafisk beskrivning av dispensering av interkonnektlinjer visas i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 10 Grafisk beskrivning av dispensering av interkonnektlinjer.*

**Dispensering av täckmaterial**

Det sista steget vid denna produktionskedja är att täcka interkonnektlinjerna med ett barriärlager. Den kontaktfria dispenseringen skedde med HV-2000b jetejektor (Graco, USA). Även täcklagret består av Elastosil. Täckmaterialets volym har minimerats för att maximera bekvämlighet för användaren. En grafisk beskrivning av dispensering av täckmaterial syns i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 11 Grafisk beskrivning av dispensering av täckmaterial.*

Ett fotografi av de föregående jetdispenseringsstegen finns i **Error! Reference source not found.**. Det elastiska stöd och täckmaterialet behöevr inte värmas för att kureras, även om värme förkortar kureringstiden.

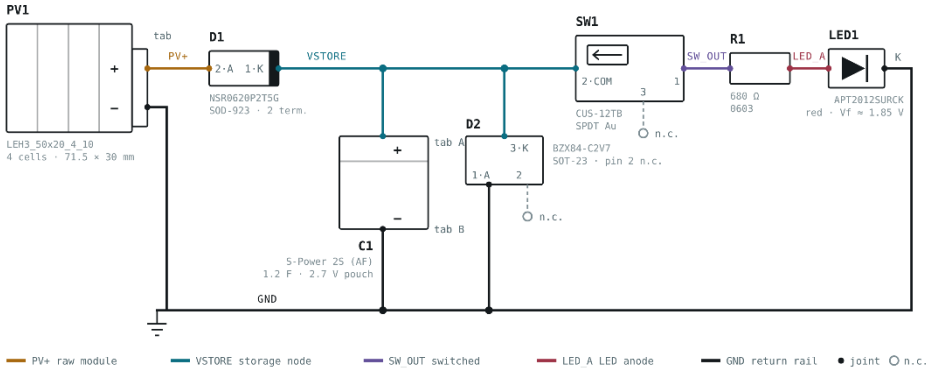


*Figur 12 Foto av resultatet av både dispensering av interkonnekt material och täckmaterial.*

## Ny demoenhet

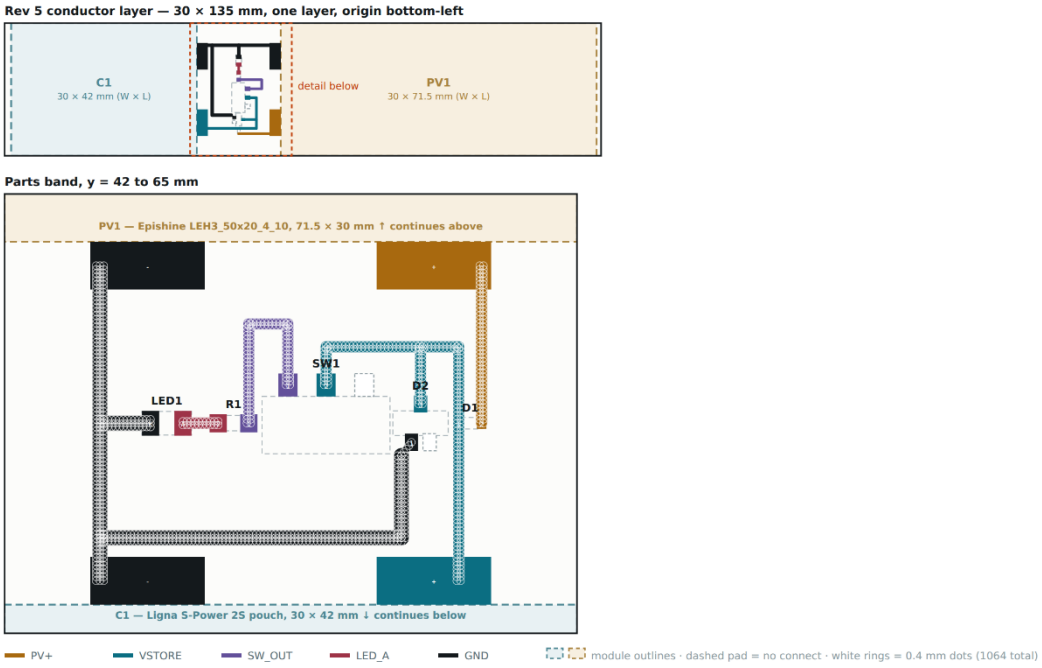
Inspirerad av arbete med att jobba med plåstret och efter diskussioner med parter i konsortiet bestämde vi oss för att designa och tillverka en enkel demonstrator där produkter från våra partners användes för att visa flexibiltet i processen.

Demonstratorn blev en enkel krets där en fotovoltaisk cell från Epishine kopplades ihop med en superkapacitans från Ligna Energy tillsammans med en enkel LED för att visa på en fungerande krets. Interkonnektlinjer dispenseras med kontaktfri jetdispensering av ett ledande adhesiv som kan kureras med UV-ljus. Kretsen ska monteras på ett mjukt sträckbart substrat av sporttejp. En schematisk beskrivning av kretsen finns i **Error! Reference source not found.**.



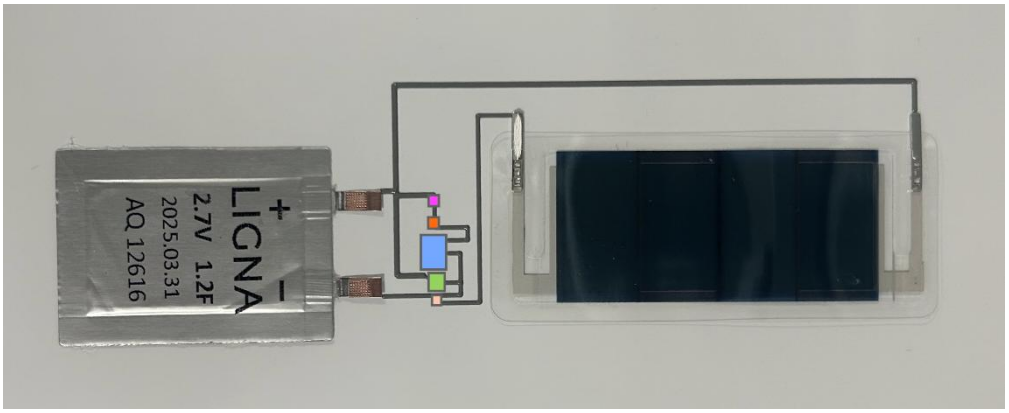

*Figur 13 Schematic of the novel demonstrator that includes a LED, PV cell, and supercapacitor.*

En beskriving av jetdispenseringsstrategin för kretsen finns i **Error! Reference source not found.**. De färgade linjerna representerar dispenseringslinjer som ska skapa elektrisk kontakt mellan komponenterna.




*Figur 14 Schematisk beskrivning av jettingområden och placeringar av komponenter för hela enheten (övre bilden) och med ett förstorat område mellan superkapacitansen och PV-cellen (undre bilden).*

Detta arbete pågår fortfarande och en första produktionsserie är planerad till september efter ett antal iterationer i elektronikdesign. I **Error! Reference source not found.** syns pågående tester med dispensering av interkonnektlinjer för demonstratorn. Övriga komponenter som ska placeras i nästa steg är utritade som rektanglar i **Error! Reference source not found.**.




*Figur 15 Arbete pågår med dispenseringstester för interkonnektlinjer mellan komponenter, som superkapacitansen från Ligna Energy och PV-cellen från epishine, samt de övriga elektriska komponenterna som här visas som pålagda rektanglar som representerar var kompo*

## Komponenter

### PV-cell

Epishine bidrog till projektet med tunna och flexibla organiska solcellsmoduler, utvecklade för att omvandla omgivande ljus – särskilt inomhusljus – till elektrisk energi. Modulerna är avsedda att kunna integreras som lokal energikälla i strömsnål elektronik och sensorer, ofta tillsammans med energilagring och strömhantering.

Under projektet deltog Epishine i arbetet med att definiera förutsättningarna för integration av denna typ av komponent i en rulle-till-rulle-baserad tillverkningsprocess. Arbetet omfattade diskussioner kring krav på materialhantering, elektrisk och mekanisk integration samt de processbegränsningar som solcellsmodulen medför. En viktig förutsättning är exempelvis att efterföljande processer behöver ske vid relativt låg temperatur för att vara kompatibla med de organiska materialen och den flexibla komponentuppbyggnaden.

Epishine försåg även konsortiet med prototyper för praktiska integrationsförsök och deltog i planeringen och genomförandet av testerna. Genom detta kunde solcellsmodulerna användas som en konkret komponent i utvärderingen av projektets monterings- och integrationskoncept, snarare än enbart som ett teoretiskt användningsfall.

Arbetet gav Epishine ökad förståelse för vilka krav som behöver ställas på framtida automatiserade integrationsprocesser för flexibla solcellsmoduler, samt vilka begränsningar och anpassningar som behöver beaktas i samspelet mellan komponent, material och produktionsutrustning. Projektet gav också möjlighet att tillsammans med övriga aktörer i värdekedjan praktiskt utvärdera hur energiskördande komponenter kan integreras i framtida flexibel och hybrid tryckt elektronik.

### Superkondensator

Ligna Energy bidrog i projektet med sin superkondensator ur S-Power-serien, en tunn energilagringskomponent (EDLC) avsedd som effektbuffert i lågeffektselektronik och sensorlösningar. Komponenten kännetecknas av låg tjocklek, snabb laddning/urladdning och hög cykellivslängd jämfört med konventionella battericeller, vilket gör den lämplig för integration i tunna och flexibla elektroniksystem. Inom ramen för R2R-HET inkluderades Ligna-komponenten som en fristående testkomponent i pilotlinjen.

Utöver komponenten i sig bidrog Ligna Energy med kravställning för integrationsprocessen, baserat på superkondensatorns specifika egenskaper. Till skillnad från konventionella komponenter tål S-Power-cellen endast en begränsad termisk exponering – en process motsvarande standardiserad reflow- eller våglödning riskerar att skada den värmesvetsade tätningen och degradera cellens elektriska prestanda (ökad ESR, minskad kapacitans). Vidare består cellens anslutningstabbar av tunna metallfolier som inte är dimensionerade för de mekaniska påkänningar en konventionell ytmonteringsprocess innebär.




*Figur 16 Lageruppbyggnad hos Lignas energilagringscell*

## Pick and Place -placering av komponenter (AP3)

**Montering av komponenter på Rulle-till-Rulle (R2R) för tryckt elektronik**

För att utvärdera möjligheten att tillverka Rulle-till-Rulle (R2R)-baserade produkter för tryckt elektronik genomfördes en teknisk studie tillsammans med ASMPT. Målsättningen var att undersöka om konventionell SMT-utrustning (Surface Mount Technology) kan anpassas för montering av komponenter på ett kontinuerligt rullmaterial istället för på styva kretskortspaneler.

Analysen visade att den största tekniska utmaningen är hanteringen och transporten av det flexibla substratet genom monteringsprocessen. Standardiserade SMT-maskiner är konstruerade för att hantera styva PCB:er med definierade dimensioner och referenspunkter, medan R2R-processen kräver kontinuerlig materialmatning med hög positionsnoggrannhet. För att säkerställa korrekt komponentplacering krävs därför modifieringar av transportsystemet, inklusive avspolningsenheter, uppspännings- och styrsystem för materialbanan samt utrustning för kontinuerlig registrering av materialets position.

Under studien granskades lösningar implementerade hos DB-Matik i Tyskland, där SMT-utrustning har anpassats för R2R-produktion. Fokus låg på hur produktionslinorna var uppbyggda, hur materialmatningen genomfördes samt vilka mekaniska och mjukvarumässiga anpassningar som krävdes för att säkerställa en stabil process. Särskild uppmärksamhet riktades mot spänningskontroll av substratet, kantstyrning (web guiding), indexering mellan processtegen samt synkronisering mellan transport- och placeringssystem.

Utvärderingen visade att det är möjligt att använda befintliga SMT-plattformar som grund för R2R-montering, men att omfattande modifieringar krävs. Förutom förändringar av transportsystemet kan även anpassningar av, mjukvarustyrning och processtöd vara nödvändiga för att uppnå den noggrannhet som krävs vid montering på flexibla substrat. Även hanteringen av materialets dimensionsförändringar, såsom töjning och krympning under processen, måste beaktas för att bibehålla god placeringsprecision.

Slutsatsen är att konvertering av standard SMT-utrustning till en fullständig R2R-process är tekniskt genomförbar men kräver betydande investeringar i både mekaniska och styrtekniska anpassningar. Erfarenheterna från DB-Matik visar att lösningen är möjlig, men att framgångsrik implementering förutsätter ett väl integrerat system för materialhantering, positionering och processtyrning genom hela produktionsflödet.

## Löd- och härdningsprocess (AP4)

Traditionell ytmonteringsteknik använder en konvektionsugn med styrbara zoner som tillsammans med conveyerns rörelse skapar en temperaturprofil som kan anpassas efter komponenter och lod. Denna process lämpar sig inte för lågtemperatursubstrat som exempelvis PET utan kräver dyrare substrat som exempelvis Kapton (polyimid). Av samma skäl kan man inte löda temperaturkänsliga komponenter. Av dessa skäl pekades redan i genomförbarhetsprojektet ut fotonisk sintring (omsmältning med hjälp av en kraftig fotoblixt) ut som en möjlig metod. Med denna metod hamnar huvuddelen av energin i lödfogen medan substrat och komponenter kan skyddas.

För att undersöka metodens lämplighet användes en fotonisk utrustning från Pulseforge som finns på Printed electronics arena hos RISE i Norrköping. Tyvärr är denna utrustning ihopbyggd med en polymerskrivare där den används för snabb värmehärdning vilket gör den svåranvänd för lödning. Trots detta gick det att ”hacka” systemet så att lödexperiment kunde genomföras

## Fotonisk lödprincip

För att skapa en omsmältning via fotonisk energi bygger man upp en puls med tillräcklig energi som man sedan upprepar med så hög frekvens som kraftaggregaten till lampdrivaren orkar upprätthålla utan att pulsenergin klingar av. En för låg frekvens leder till alltför hög avkylning mellan pulserna och därmed kommer aldrig lodpastan upp i omsmältningstemperatur.

Användargränssnittet till Pulseforge tillåter att man skapar en puls i dimensionen spänning och tid, och sen anger ett antal och en repetiotionsfrekvens. De senare två parametrarna är inte tillgängliga i Ceradropimplementationen men gick att komma åt indirekt genom att använda funktionen för ”Overlap” i kombination med rörelsehastighet (”Speed”) för substratplattan men ange att substratplattan ska stå still under lödning.

”Overlap” sätts till antalet önskade pulser, ”Speed” räknas ut enligt:

$$S=f*50/n$$

där $S$=”Speed”, $f$ = önskad frekvens och $n$=antal pulser.

## Puls och målfrekvens

Första steget var att skapa en ljuspuls med lämplig mängd energi. Målvärdet är ca 0,5-1J/cm$^2$. Två pulser valdes: 450V/350us (1J/cm$^2$) och 400V/350us (0,7 J/cm$^2$).

Frekvensen bör ligga på 10-30Hz, högre är bättre. Dock skall frekvensen väljas så att de efterföljande pulserna inte mattas av. Då systemet hos PEA dessvärre inte är optimerat för detta innebar det att maxfrekvensen skulle bli ca 1Hz vilket är otillräckligt för att uppnå omsmältning. Frekvensen valdes därmed till 10Hz som en avvägning mellan avklingande pulser och tillräcklig frekvens.

## Processfönster

Ett antal omsmältningsprov gjordes på substrat tillverkat av kopparbelagd aluminium på PET-folie. Resultatet noterades enligt:

N: Ingen omsmältning
P: Delvis omsmältning
OK: God omsmältning
PD: Delvis påverkat substrat
D: Mycket påverkat substrat

| | *n*=15 | *n*=25 | *n*=50 | *n*=60 | *n*=75 |
|---|---|---|---|---|---|
| 450V/350us, 10Hz | P | OK | OK | OK | PD |
| 400V/350us, 10Hz | N | N | P | OK | OK |
| | | | | | |
| Speed | 33 | 20 | 10 | 8,3 | 7 |

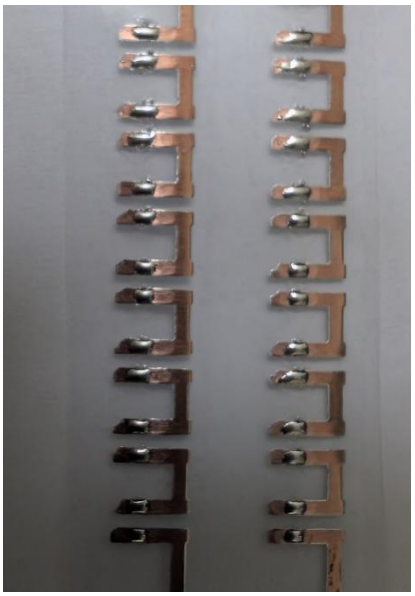
Bäst processfönster ger alltså 450V/350us/10Hz och ca 40 pulser.

## Resultat

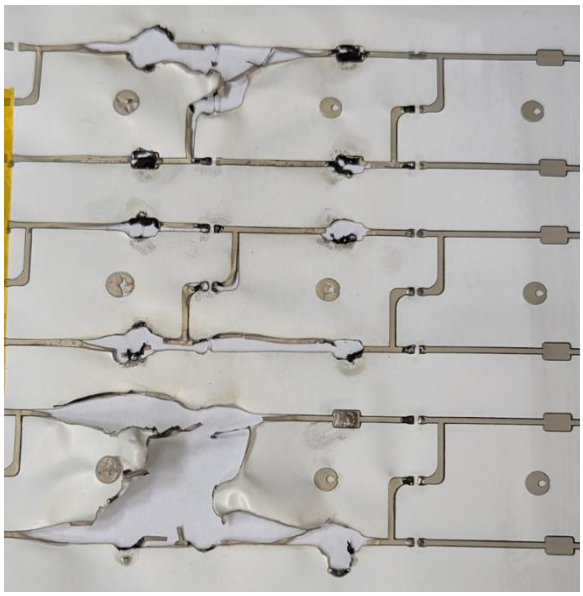
Test gjordes med tryckt mönster från Beneli och torrfräst mönster från DP Patterning. Båda använde PET-film som bärarsubstrat.

Dessvärre visade det sig att kollagret i Benelis substrat absorberade energi i hög grad varvid laminatet förstördes innan omsmältning uppnåddes. DP Patternings substrat däremot fungerade

väl. Tyvärr skadades utrustningen i samband med testerna av Benelis laminat och ytterligare prover kunde därför inte göras.



*Figur 17 Lödresultat koppar på PET*



*Figur 18 Lödresultat tryckt silver på PET*

### Slutsats

Slutsatsen så här långt blir ändå att det finns förutsättningar att fotonisk lödning kan fungera väl för komponenter och substrat som inte tål temperaturen i en konventionell lödprocess. Dock måste komponenter och ledarbanor som kan absorbera energi skyddas med en reflekterande yta.

### Framtida undersökningar

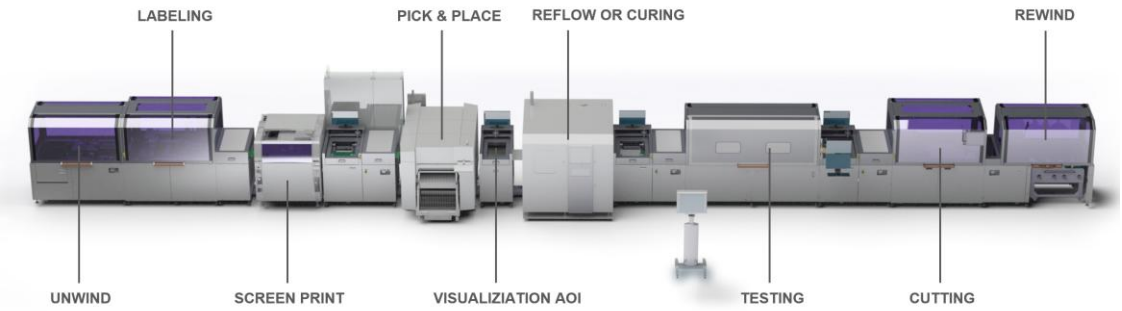
Benelis tryckta laminat behöver provas med en vit lödmask som täcker kollagret och hindrar det från att absorbera energi och faktiska monteringstester med komponenter från Ligna och Epishine behöver genomföras för att validera de preliminära slutsatserna.

## R2R-teknik (AP5)

”R2R” står för ”Roll-to-roll” och avser kapabiliteten att producera något från ett upprullat material och därefter rulla upp det på nytt. Detta möjliggör en mer rationell logistisk hantering både inom faciliteter och mellan faciliteter.

Ett problem med R2R-processer är att de har sitt tekniska arv från tryckindustrin, snarare än elektronikindustrin. En traditionell R2R-lina ser alltså i mångt och mycket ut som en tryckpress. Detta gör tekniken till en ganska främmande fågel för den traditionella elektronikindustrin och skapar en hög introduktionströskel

För att undersöka möjligheterna att bygga en komplett flexibel lina som har potential att accepteras av traditionella tillverkare inom EMS-industrin gjordes ett industribesök till db-matik, en tysk tillverkare som specialiserats sig på R2R-system för elektronikmontering. Deras lösning är betydligt närmare en traditionell elektronikmonteringslina och kan därmed sänka tröskeln för traditionella elektroniktillverkare att investera i R2R-teknik.




*Figur 19 Exempel på komplett monteringslina R2R*

Genom att använda ett modulärt byggsätt med golvbaserade moduler och göra dem till stor grand oberoende av varandra, bla genom att frikoppla parametrar som banspänning och banriktning, kan modulerna kombineras och placeras på ungefär samma sätt som en traditionell ytmonteringslina. Detta skiljer sig mycket från traditionella tryckpressar som oftast är uppbyggda mot en stor metallvägg där modulerna monteras och målet är att få en rak och samspänd bana.

I dagsläget producerar db-matik främst produktspecifika tillverkningslinor för exempelvis bankkort eller LED-strips. Man har inte byggt generella produktionslinor, och heller inte tittat på lödning med temperaturkänsliga substrat eller komponenter.

## Kommunikation och kunskapshöjande insatser (AP6)

Kommunikationen har fokuserat på att öka kunskapen om tryckt elektronik, dess användningsområden och teknikens roll, samt att synliggöra projektets delresultat. Syftet har varit att nå en bredare målgrupp och särskilt aktörer som kan ha nytta av tryckt elektronik, exempelvis produktägare och andra relevanta beslutsfattare.

Kommunikationsinsatserna har i första hand genomförts via IoT Worlds kanaler, såsom nyhetsbrev, sociala medier och event. Därutöver har Linköping Science Parks nätverk använts för att ytterligare bredda räckvidden och nå fler relevanta målgrupper.

Den 3 september 2025 genomfördes inom projektet en gemensam rundresa till bolag som arbetar med tryckt elektronik i Norrköping och Linköping. Det genomfördes som en ordnad bussresa där deltagarna fick besöka RISE, Actia, Ligna Energy, DP Patterning och Epishine. Totalt deltog 19 personer främst från andra teknikbolag i Östergötland. Det var ett heldagsevent där deltagarna fick en inblick i kommande generations produktionsmetoder, material och lösningar inom hållbar elektronik och möjlighet att knyta värdefulla kontakter. Eventet välkomnade alla som var intresserade men främst produktstrateger, produktdesigners, elektronikkonstruktörer och produktionstekniker.

Nu rullas ett nytt projekt inom tryckt elektronik ut! – introducerande artikel som belyser projektets start och syfte samt behov som ska mötas i branschen.

På rull med IoT World - inför bussresa till bolag inom elektronikproduktion i Östergötland.

Framtiden för tryckt elektronik - reflektioner studieresa och kunskapsutbyte där deltagarna fick en inblick i företaget Grafisk Maskinfabriks historia samt Beneli som tillverkar limapplikationer. Syftet var att få nya insikter i tryckteknik och få en förståelse för hur andra parter jobbar i branschen. Idag saknas effektiva storskaliga produktionslösningar inom tryckt elektronik och att lära av varandra är ett steg mot att lösa den utmaningen.

Vi har även använt oss av sociala medier, så som IoT Worlds Linkedin, för att kommunicera delresultat från projektet, se exempel 1 och exempel 2.

Framåt planeras kommunikation av slutrapport av projektet.

## Övergripande slutsatser och strategi för nyttjande av projektresultaten

Projektresultaten visar att det finns leverantörer med tekniska lösningar för att ta fram en komplett generisk R2R-process för flexibel elektronik, och nu finns också skalbara och kostnadseffektiva lösningar att ta fram flexibla mönsterkort. Det främsta hindret för en snabb uppskalning av produktionskapacitet är att det saknas en tydlig efterfrågan, vilket i sin tur beror på att produktutvecklare i de flesta fall väljer bort lösningar med flexibel elektronik då en kostnadseffektiv och skalbar produktionskapacitet saknas. Således finns här ett moment 22 som behöver brytas för att vi ska se en utveckling på området.

Projektresultaten kommer att ligga till grund för ytterligare ansökningar och investeringsinitiativ med målet att tillföra EMS-kapacitet för kostnadseffektiv produktion av flexibel elektronik och därmed bryta dödläget.

## Omnämningar

Projektpartners är väldigt tacksamma för projektstödet från VINNOVA och Smartare Elektroniksystem/Svensk Elektronik som hjälper möjliggöra lösningar som vi tror kunna göra verklig skillnad i framtiden för elektronikindustrin i Sverige och dess hållbarhet. Vi ser fram emot att fortsätta vår framgångsresa tillsammans med er och med svenska företag samt den elektronikindustri vi är en del av.