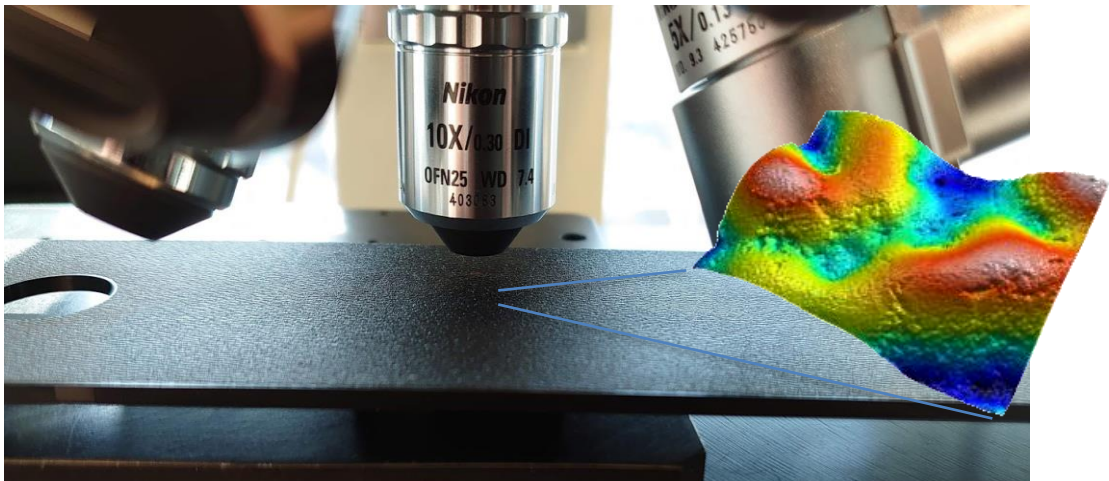


Robust formsprutning av fordonskomponenter med låg miljöpåverkan

Publik rapport



Författare: Anders Sjögren, Lunds Universitet
Datum: 2021-06-10

Projekt inom delprogrammet Hållbar Produktion

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....	6
5 Mål	7
6 Resultat och måluppfyllelse	8
7 Spridning och publicering	12
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	12
7.2 Publikationer.....	12
8 Slutsatser och fortsatt forskning	13
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	15

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Formsprutning av plast erbjuder fantastiska möjligheter att tillverka innovativa, miljövänliga och säkra komponenter. Formsprutning av komponenter med önskade ytegenskaper (mönster och glans) kan dock vara svårt. Syftet med det aktuella projektet var därför att öka kunskapen om robust formsprutning av mönstrade fordonskomponenter. Baserat på de resultat som erhållits så kan konstateras att det är viktigt att beakta allt från design och val av material till inställning av formsprutningsmaskinen vid tillverkning av mönstrade komponenter. Parametrar av särskild vikt är t.ex. smältaviskositet, verktygstemperatur, insprutningshastighet och eftertryck. Mycket av projektets arbete har fokuserats på simulering av plastens avbildning av mönstret i formverktyget vid formsprutning och formfyllnadssimuleringar med hjälp av Moldflow® har visat att trycket när ytskiktet stelnar (pressure at freeze) troligtvis är den parameter som bäst korrelerar mot mönsteravbildning och glans. Simuleringar och experimentella tester har visat att trycket bör vara minst 10-20 MPa för amorfa termoplaster och minst 4-10 MPa för delkristallina plaster. För att erhålla korrekta simuleringsvärden så är det dock viktigt att elementstorleken i beräkningsnätverket är liten där plastsmältan har hög skjuvhastighet. Eftertrycket kan också vara en intressant parameter att simulera och ofta korrelerar även eftertrycket relativt bra mot uppmätt glans. Speciellt för komponenter med jämn godstjocklek så kan simulering av eftertrycket ge en bra indikation på vilken mönsteravbildning som kommer att erhållas för färdig komponent. Även simulering av komponenternas volymetriska krymp vid utstötning kan ge information om vilken mönsteravbildning (och därmed glans) som kan förväntas. Förutom Moldflow® simuleringar så har även detaljerade simuleringar av plastens inträngning i mönstret utförts. Men tyvärr så har det varit svårt att erhålla konvergens för dessa simuleringar då mönstret har en utbredning i tre dimensioner och höjden på topparna endast är några få tiodels mikrometrar.

Förutom omfattande simuleringar så har även fyra experimentella undersökningar genomförts. I den första undersökningen så studerades inverkan av insprutningshastighet, insprutningstryck och verktygstemperatur på mönsteravbildningen för ett stort antal olika plaster. I undersökning nummer två så studerades även inverkan av eftertryck på mönsteravbildningen och en stor mängd olika av parametrar analyserades, t.ex. glans, kulör, emissioner och reptålighet. I den tredje undersökningen användes ett mera komplext formverktyg med hål och ribbor och mönsteravbildningen för PC/ABS (både nyråvara och återvunnet material) studerades. Slutligen, i den fjärde experimentella undersökningen, så genomfördes en komplett försöksplanering för PP och PA (både nyråvara och återvunna material). De experimentella undersökningarna har lett till ökad kunskap om mönsteravbildning vid formsprutning, men även genererat mycket indata till simuleringarna. Planen var att utföra även en femte experimentell undersökning, för att testa och verifiera de resultat som erhållits i ett produktionsverktyg. Men tyvärr så fick denna undersökning ställas in på grund av Covid-19. En liten experimentell undersökning genomfördes dock under våren 2021 och fokus för denna undersökning var reptålighet för polypropen (PP). Undersökningen visade på en förvånansvärt bra korrelation mellan mönsteravbildning och reptålighet.

Analys av plastkomponenters miljöpåverkan har även ingått som en av del av projektet. Någon komplett livscykelanalys har inte utförts, utan istället har olika material- och processparametrars inverkan på energiåtgång och utsläpp analyserats. Baserat på de resultat som erhållits så kan konstateras att vid val av lämpligt plastmaterial så är det viktigt att beakta materialets mekaniska egenskaper, termiska egenskaper, energiåtgång vid tillverkning av plastråvaran, smältaviskositet, kyltid, mm. Vidare så är det även viktigt att fundera på möjligheten att återanvända komponenter. Kanske går det att förbereda komponenterna för användning i andra produkter när den första användningsfasen är över? Sedan är det även viktigt att underlätta återvinning och om målet är att använda mekanisk materialåtervinning så bör komponenterna tillverkas av så få olika material som möjligt, vara enkla att demontera, samt även vara enkla att rengöra.

Resultat från projektet har spridits genom författande av ett konferensbidrag och en vetenskaplig artikel. Arbete pågår med författande av ytterligare två vetenskapliga artiklar. Dessutom så har 5 populärvetenskapliga artiklar publicerats i tidskriften Polymervärlden. Resultat från projektet har även presenterats vid ett digitalt seminarium i maj 2021. Seminariet lockade > 100 deltagare.

2 Executive summary in English

Interior automotive plastic components are often manufactured by injection moulding since this technique enable cost efficient manufacturing, large design freedom, and easy integration of functions. To achieve the intended appearance of the components they are normally given a texture, in addition to carefully selected colour and gloss properties. However, to obtain a high-quality impression it is important with uniformity in texture, colour and gloss. Unfortunately, this is rather difficult since a large number of materials and processing parameters affects the surface topography and thereby the texture, colour and gloss. The aim of the present project was therefore to improve the knowledge about robust injection moulding of automotive components.

The project consortium consisted of 13 partners (4 OEM, one Tier 1, 5 Tier 2, and 3 universities). The project started in November 2018 and ended in May 2021. The project has been carried out in a good spirit, but due to Covid-19 most of the project meetings have unfortunately had to be digital. However, a large amount of data and results have been generated and below some of the results are briefly presented.

To improve the knowledge about robust injection moulding of automotive components, four comprehensive experimental investigations have been carried out. Each investigation has been in the form of a Design of Experiment (DoE) and carefully prepared by detailed simulations. In the first investigation the effect of injection speed, injection pressure and tool temperature on texture replication was investigated. The materials used were:

- Rondo REZYcom PP 10020E20
- Erteco RSH PP MF20 UV 900012
- Rondo REPRO PC/ABS RTX65
- Erteco RSH PC/ABS 2525 A 35 90012
- Rondo REZYcom PA6 RB431DF15

In the second experimental investigation the effect of holding pressure was also studied, and based on the results from the first two experimental investigations it is clear that it is fully possible to achieve the intended appearance of interior automotive components by both bio-based and recycled plastic materials. However, when bio-composites are used, VOC can be problematic. In the third experimental investigation a more complicated mould tool, with ribs and holes, was used and the texture replication for PC/ABS (both virgin materials and recycled materials) was investigated. As PC/ABS is an amorphous plastic material, the texture replication will differ compared to the texture replication of semi-crystalline materials, and in the fourth experimental investigation the texture replication of PP and PA6 was therefore investigated. The four experimental investigations have generated a lot of results and the plan was to carry out a fifth, and final experimental investigation, to test and verify all the results that have been generated. However, due to Covid-19 this investigation had to be cancelled, and instead a small experimental investigation about scratch resistance of PP was carried out. Interesting to notice from this investigation is that scratch resistance and texture replication correlate very well.

Most of the work in the project has focused on simulation of texture replication (gloss). A large number of Moldflow® simulations have been carried out and it seems like the parameter “pressure at freeze” correlate very well with texture replication and gloss. The pressure at freeze shall be at least 10-20 MPa for amorphous thermoplastic materials and at least 4-10 MPa for semi-crystalline thermoplastic materials to obtain a good texture replication. However, to obtain accurate and trustworthy results it is important that the mesh size is small where the plastic melt has a large shear speed. Furthermore, the holding pressure does also correlate rather well with texture replication and gloss, especially for components with an even wall thickness. Even the volumetric shrinkage, a parameter that can easily be simulated, can give valuable information about the texture replication (and thereby gloss) which can be expected on the manufactured component. However, Moldflow® simulations do not give information about how the plastic material fill the grain pattern and detailed simulations regarding this kind of filling have therefore been carried out by Luleå Technical University. But since the fine texture, used to lower

the gloss, only have amplitudes of some few micrometers, it has been difficult to achieve convergence for these simulations. Work is, however, still on-going and the results will be presented in a coming scientific paper.

Despite that injection moulding is a very energy efficient manufacturing technique; injection moulding of plastic components has a rather high environmental impact. Ways of reducing the environmental impact have therefore been investigated by performing a literature survey and it is clear that the environmental impact can be reduced by carefully consider the design of the component, the embodied energy for the plastic material, the melt viscosity of the plastic material, as well as the cooling time. Furthermore, it is very important already in the design phase to consider both reuse and recycling of the component to reduce the environmental impact.

Results from the project have been presented at Met&Props 2019 in Lyon, France. A scientific paper has also been submitted to Polymer Engineering and Science. The aim is to write and submit at least two more scientific papers. To spread results from the project to the automotive industry a seminar was held in May 2021, and to spread results to the injection moulding industry in Sweden, 5 popular scientific articles have been published in the magazine Polymervärlden.

3 Bakgrund

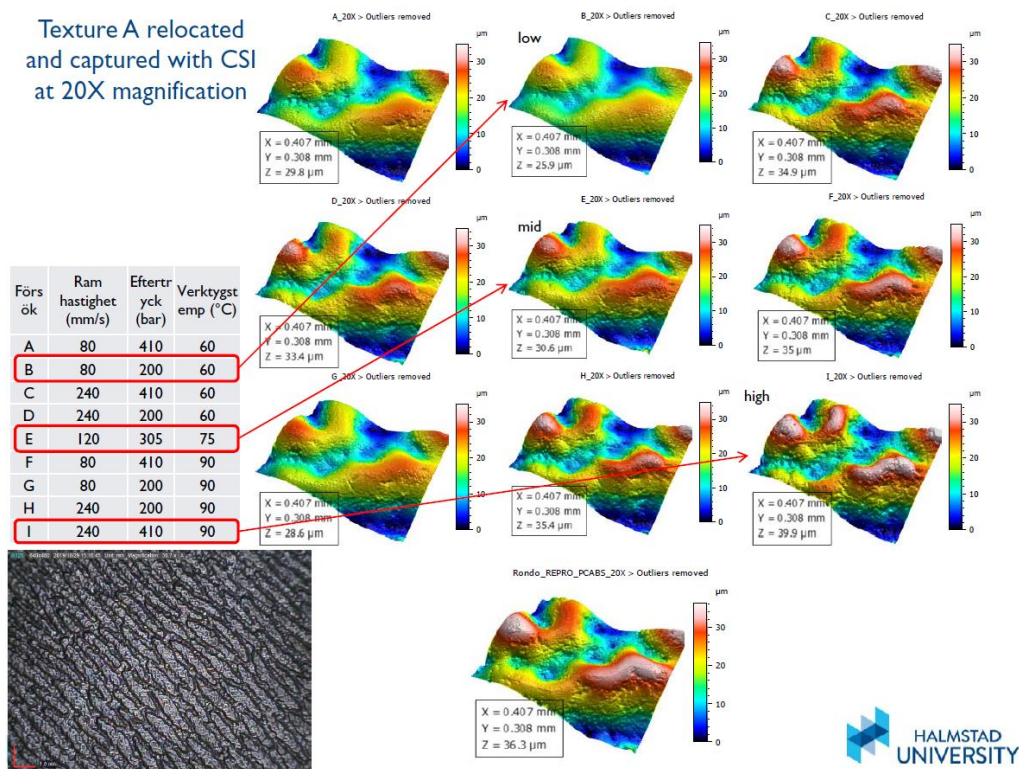
Det interiöra utseendet har mycket stor betydelse för hur kunder uppfattar fordons kvaliteten. Studier visar att ca 30% av dagens bilköpare tar beslut om köp baserat på det interiöra utseendet och i en undersökning utförd av en amerikansk biltidning så värderades interiören (formspråk, färg och mönster, kvalitet på knappar och reglage, mm) högre än både pris och exteriör styling.

En stor del av dagens interiöra fordonskomponenter är tillverkade av formsprutad plast eftersom formsprutning av plast erbjuder kostnadseffektiv tillverkning, stor designfrihet, enkel integrering av funktioner, stor flexibilitet gällande färg och mönster, komponenter med bra ljuddämpning, etc. Formsprutning av komponenter med perfekt mönster och glans är dock svårt eftersom en stor mängd olika material- och processparametrar påverkar utfallet. När det gäller formsprutning av interiöra fordonskomponenter önskas normalt komponenter med låg glans. Anledningen är att låg glans på komponenterna ger mindre problem med reflektion, bättre reptålighet, samt ett mera exklusivt utseende. Ytans glans är kopplad till ytans struktur och beror därför på hur väl plasten lyckas avbilda mönstret i formverktyget. Mönstrets utformning har naturligtvis stor betydelse för möjligheten till avbildning, men olika material- och processparametrar har också stor betydelse. En mängd undersökningar har utförts inom industrin men dessa undersökningar har inte renderat i några vetenskapliga publikationer. Men baserat på de få resultat som publicerats kan konstateras att formverktygets material, utformning och kylning har mycket stor inverkan på glans och ytstruktur hos formsprutgods. Valet av material påverkar t.ex. värmeledning och nötningsmotstånd, och utformningen av inlopp, fördelningskanaler och intag påverkar skjuvningen av plastsmältan och därmed dess temperatur. Vidare så ger en grov mönstring av formverktyget en större yta som kan leda bort värme snabbare och detta leder till snabbare stelning av plastsmältan. Genom att öka verktygstemperaturen erhålls en längre tid till dess att plastsmältan stelnar då den träffar formväggarna och denna extra tid erbjuder förbättrade möjligheter till mönsteravbildning. För att erhålla optimal mönsteravbildning krävs dock att plastsmältans viskositet är låg när den träffar formväggarna. Detta kan erhållas genom låg molekylvikt (högt smältindex), hög smälttemperatur, hög insprutningshastighet och/eller hög verktygstemperatur. Vidare så minskar insprutningstrycket med ökat avstånd från intaget. Detta leder till att mönsteravbildningen försämras och glansen ökar (för mönstrade ytor) med ökat avstånd från intaget. Bäst mönsteravbildning, och lägst glans för mönstrade ytor, erhålls alltså normalt i närheten av intaget. För att säkerställa bra mönsteravbildning är det även viktigt med ett högt forminnertryck. Processparametrar som påverkar trycket är t.ex. insprutningstryck, smältviskositet och eftertryck. För delkristallina termoplaster är ett högt eftertryck och lång eftertryckstid viktigt för att undvika att plasten krymper ifrån väggarna i formverktyget och därmed försämrar mönsteravbildningen.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

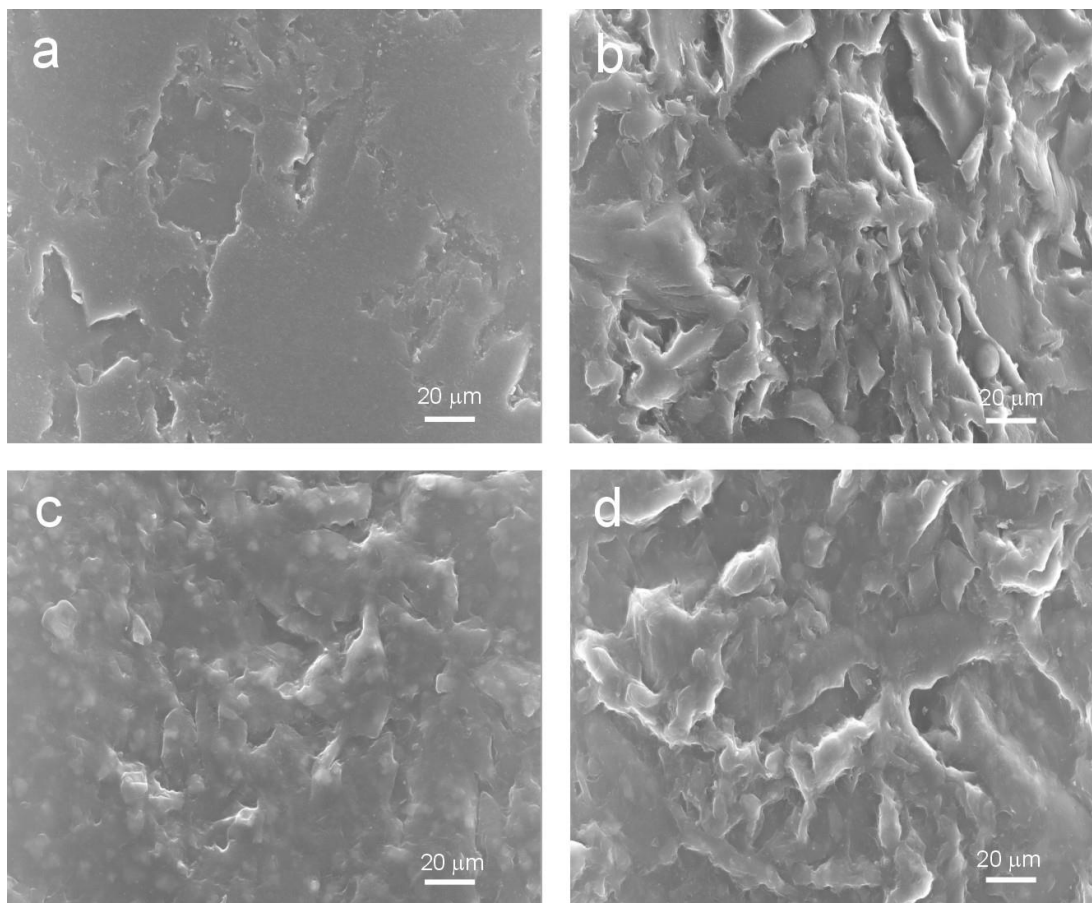
Syftet med det aktuella projektet var att öka kunskapen om robust tillverkning av mönstrade fordonskomponenter. Problem/frågeställningar att beakta var till exempel; Hur påverkar olika material- och processparametrar mönsteravbildningen? Hur bör man kravsätta mönster och glans? Är det möjligt att åstadkomma önskad kvalitet för interiöra fordonskomponenter med återvunnen plast? Hur kan man på ett effektivt sätt prediktera ytstörningar och glansvariationer?

För att besvara ovanstående problem/frågeställningar så har 4 experimentella undersökningar genomförts. Varje undersökning har utförts som en försöksplanering (DoE) och förberetts och utvärderats mycket noggrant med hjälp av flödessimuleringar. En stor mängd olika material har utvärderats, såväl biobaserade som fossilbaserade och mekaniskt återvunna material. Processparametrar som studerats är t.ex. smälttemperatur, verktygstemperatur, insprutningshastighet, eftertryck och mottryck. Testobjekten som tillverkats har utvärderats gällande glans, kulör, yttopografi, reptålighet, sammanflytningar, och emissioner. Halmstad Högskola har utfört en stor mängd analyser av testobjektens yttopografi och resultaten har skapat en bättre förståelse för hur olika processparametrar påverkar mönsteravbildning och glans vid formsprutning. I figur 1 visas resultat från en av de yttopografiska analyserna.



Figur 1. Resultat från en av de yttopografiska analyserna.

Lunds Universitet har analyserat mönsteravbildningen för olika material- och processparametrar med hjälp av svepelektronmikroskopi och i figur 2 visas mönsteravbildningen för två olika typer av material (ABS och PP) vid användning av olika processparametrar. Som framgår av figuren så påverkas mönsteravbildningen mycket av både material och processparametrar.



Figur 2. Svepelektronmikroskopibilder visande yttopografin för 4 olika provobjekt. a) ABS – låg smälttemperatur och låg verktygstemperatur, b) ABS – hög smälttemperatur och hög verktygstemperatur, c) Talkfylld PP – låg smälttemperatur och låg verktygstemperatur, d) Talkfylld PP – hög smälttemperatur och hög verktygstemperatur.

CEVT och Luleå Tekniska Universitet har utfört omfattande numeriska analyser och det verkar som att trycket i formrummet då plasten stelnar är en viktig parameter som korrelerar med uppmätt glans.

Projektet har tveklöst ökat kunskapen om hur olika material- och processparametrar påverkar mönsteravbildningen vid formsprutning. Projektet har även visat att det går att åstadkomma önskad mönsteravbildning med både biobaserade och återvunna plastmaterial. Gällande frågeställningen om effektiva sätt att prediktera ytstörningar och glansvariationer så har projektet bidragit till ett stort steg framåt inom detta område. Mer arbete krävs dock för att bestämma gränsvärden för temperaturer och tryck. Men allt tyder på att det med hjälp av simuleringar går att prediktera både ytstörningar och glansvariationer för mönstrade plastkomponenter. Detta är naturligtvis ett mycket viktigt resultat eftersom möjligheten att simulera plastens mönsteravbildning vid formsprutning kan spara både mycket tid och pengar i framtida utveckling av nya komponenter.

5 Mål

I ansökan angavs att projektet skulle generera följande konkreta mål och resultat:

- 20% kortare ledtid för utveckling och inkörning av mönstrade fordonskomponenter
- 20% mindre kassation i samband med inkörning av nya komponenter
- Konstruktionshandbok för mönstrat formsprutgods
- Processhandbok för formsprutning av mönstrade komponenter
- Rapport med information om mönsteravbildning för återvunnen plast

- Rapport med information om mönsteravbildning för olika typer av biobaserade plaster
- Utbildningsmaterial för konstruktörer inom fordonsindustrin
- Utbildningsmaterial för maskinställare inom formsprutningsindustrin
- Virtuella verktyg för prediktering av mönsteravbildning och glans
- Minst 3 vetenskapliga artiklar/konferensbidrag

6 Resultat och måluppfyllelse

Som angavs redan i projektansökan så är det svårt att utvärdera de två första målen (dvs kortare ledtider och mindre kassation) vid projektets avslut. Men för de övriga målen gäller följande.

Konstruktionshandbok för mönstrat formsprutgods

Resultat genererade inom projektet, i kombination med resultat från den vetenskapliga litteraturen, gör att det finns ett bra underlag för framtagning av en konstruktionshandbok för mönstrat formsprutgods. En del resultat gällande robust konstruktion av mönstrat formsprutgods finns sammanställt i den populärvetenskapliga artikeln "Formsprutning av mönstrade produkter", men någon komplett konstruktionshandbok är tyvärr inte klar. Målsättningen är dock att ta fram en konstruktionshandbok för mönstrat formsprutgods under hösten 2021.

Processhandbok för formsprutning av mönstrade komponenter

En processhandbok för maskinställare och tekniker verksamma inom formsprutningsindustrin har sammanställts inom ramen för projektet. I processhandboken förklaras hur olika material- och processparametrar påverkar avbildningen av formverktygets mönster vid formsprutning. Processhandboken används som utbildningsmaterial i Polymercentrum Sveriges utbildningar för operatörer och maskinställare.

Rapport med information om mönsteravbildning för återvunnen plast

Resultat från simulering och experimentella tester med återvunna plastmaterial har sammanställts i en rapport. De material som studerats är:

- Rondo REZYcom PP 10020E20
- Erteco RSH PP MF20 UV 900012
- Rondo REPRO PC/ABS RTX65
- Erteco RSH PC/ABS 2525 A 35 90012
- Rondo REZYcom PA6 RB431DF15

Resultaten visar att det går att erhålla önskad mönsteravbildning och glans med återvunna plaster. Vissa av de återvunna plasterna uppvisade till och med en bättre mönsteravbildning än referensmaterialen av nyråvara. Vid användning av återvunnen plastvara måste dock även mekaniska egenskaper, hållfasthet hos sammanflytningslinjer, mm, beaktas. Spridning av egenskaperna mellan olika batcher när det gäller återvunna material måste också tas hänsyn till.

Rapport med information om mönsteravbildning för olika typer av biobaserade plaster

En rapport med resultat från simulering och experimentella tester med återvunna plastmaterial har även tagits fram inom projektet. De biobaserade plaster som studerats är:

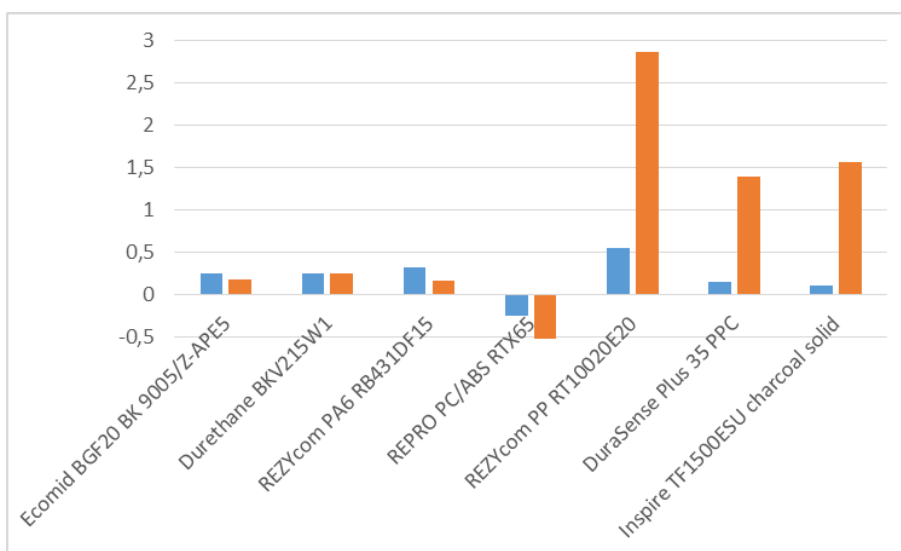
- Stora Enso DuraSense Plus 35 PPC PP with wood fibre
- Celanese Ecomid BGF20 BK 9005/Z-APE5 PA6GF20

Resultaten visar att det är möjligt att åstadkomma önskad mönsteravbildning med biobaserade plastmaterial. Vid användning av biokomposit, som t.ex. DuraSense, för tillverkning av interiöra fordonskomponenter kan dock emissioner utgöra ett problem. I tabell 1 och figur 3 visas resultat från

uppmätning av glans och reptålighet för några av de återvunna och biobaserade plastmaterial som studerats i projektet.

Tabell 1. Resultat från test av glans och reptålighet.

Brand	Material code	Material	Date of production	Test	GLOSS (20°)	GLOSS (60°)	GLOSS (85°)	L _b	L _a	L _{20h}	dl _(a-b)	dl _(20h-b)	dl _(20h-a)
StoraEnso	DuraSense Plus 35 PPC	PP with wood fiber	190828	Low load	0,6	2,3	3,7	56,53	56,79	56,68	0,26	0,15	-0,11
StoraEnso	DuraSense Plus 35 PPC	PP with wood fiber	190828	High load	0,5	2,3	3,7	55,89	57,24	57,29	1,35	1,4	0,05
Lanxess	Durethane BKV215W1	PA15GF	190828	Low load	0,2	1,4	2,2	23,43	23,62	23,69	0,19	0,26	0,07
Lanxess	Durethane BKV215W1	PA15GF	190828	High load	0,3	1,4	2,3	23,42	23,69	23,67	0,27	0,25	-0,02
Rondo	REPRO PC/ABS RTX65	PC/ABS	190829	Low load	0,3	2,3	4,9	26,84	26,59	26,6	-0,25	-0,24	0,01
Rondo	REPRO PC/ABS RTX65	PC/ABS	190829	High load	0,3	2,1	4,7	26,93	26,48	26,42	-0,45	-0,51	-0,06
Trinseo	Inspire TF1500ESU charcoal solid	PP/EPDM MD15	190828	Low load	0,3	2,7	7	25,68	25,74	25,79	0,06	0,11	0,05
Trinseo	Inspire TF1500ESU charcoal solid	PP/EPDM MD15	190828	High load	0,3	2,5	7,1	25,74	27,49	27,3	1,75	1,56	-0,19
Celanese	Ecomid BGF20 BK 9005/Z-APES	PA6 GF20	190829	Low load	0,3	1,5	2,3	23,17	23,4	23,43	0,23	0,26	0,03
Celanese	Ecomid BGF20 BK 9005/Z-APES	PA6 GF20	190829	High load	0,1	1,5	2,5	23,39	23,58	23,58	0,19	0,19	0
Rondo	REZYcom PP RT10020E20	PP	190828	Low load	0,2	2,5	6,3	25,14	25,67	25,69	0,53	0,55	0,02
Rondo	REZYcom PP RT10020E20	PP	190828	High load	0,3	2,5	6,3	25,2	28,39	28,06	3,19	2,86	-0,33
Rondo	REZYcom PA6 RB431DF15	PA6 15GF	190829	Low load	0,2	1,2	2	22,32	22,61	22,64	0,29	0,32	0,03
Rondo	REZYcom PA6 RB431DF15	PA6 15GF	190829	High load	0,1	1,3	2	22,4	22,58	22,57	0,18	0,17	-0,01



Figur 3. Resultat från test av reptålighet. Orange staplar visar resultat för hög belastning vid test och blå staplar visar resultat från låg belastning vid test.

Utbildningsmaterial för konstruktörer inom fordonsindustrin

Ett seminarium (utbildning) för konstruktörer och produktutvecklare verksamma inom fordonsindustrin hölls 11 maj 2021. Intresset för seminariet var stort och materialet som presenterades (inverkan av material- och processparametrar på mönsteravbildning, simulering av mönsteravbildning, samt test av reptålighet) fanns tillgängligt för nedladdning av alla som så önskade.

Volvo Cars erbjuder årligen en plastkurs för sina medarbetare och i denna kurs kommer framöver en del av de resultat som tagits fram inom projektet att presenteras.

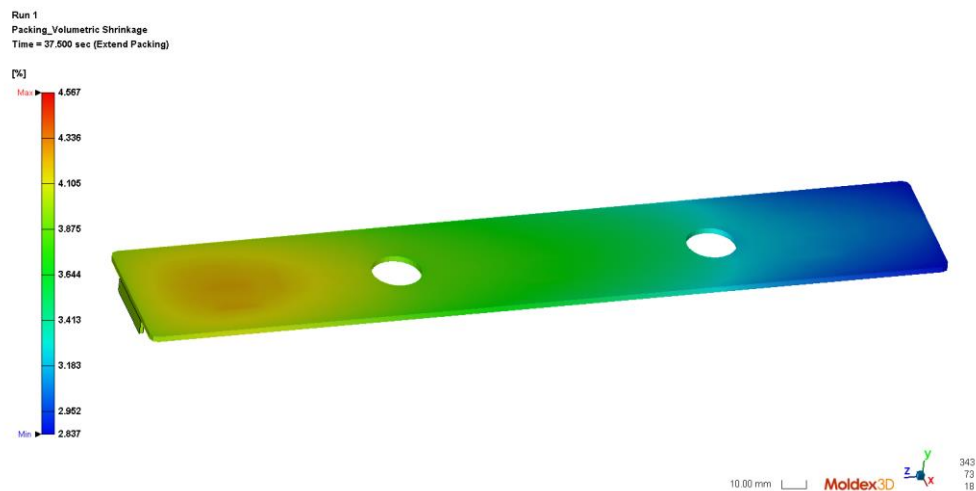
Lunds Universitet håller årligen en kurs om konstruktion med termoplaster för studenter som läser produktutveckling och teknisk design. Kursen lockar årligen ett 30-tal studenter och i denna kurs beskrivs formsprutningsprocessen i detalj. Resultat från projektet kommer därför att inkluderas i denna kurs.

Utbildningsmaterial för maskinställare inom formsprutningsindustrin

Polymercentrum Sverige AB bedriver utbildningar för maskinställare verksamma inom formsprutningsindustrin. Deltagare i projektet agerar regelbundet lärare i dessa utbildningar och resultat från projektet används som utbildningsmaterial.

Virtuella verktyg för prediktering av mönsteravbildning och glans

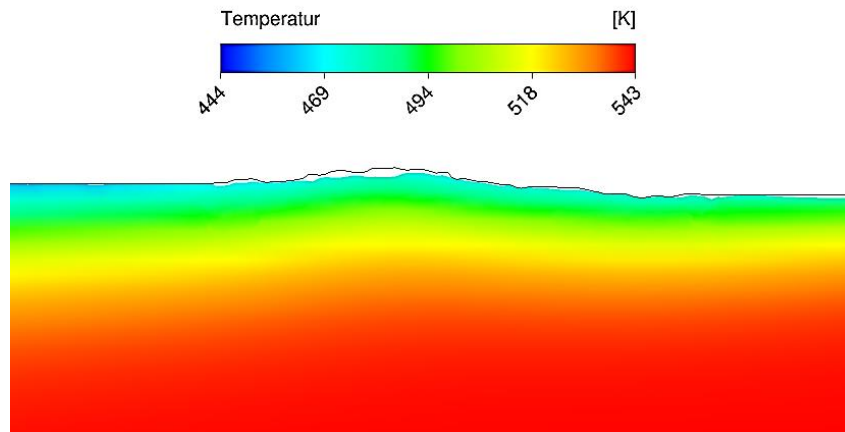
Projektet har framförallt fokuserat på utveckling av virtuella verktyg för prediktering av mönsteravbildning och glans. CEVT har utfört en stor mängd simuleringar av mönsteravbildning och glans och det verkar som att trycket i formverktyget då plasten stelnar (pressure at freeze) är en parameter som korrelerar bra med uppmätt glans. Simuleringar och experimentella tester har visat att trycket bör vara minst 10-20 MPa för amorfa termoplaster och minst 4-10 MPa för delkristallina plaster. För att erhålla korrekta värden på trycket är det dock viktigt att elementstorlek i beräkningsnätverket är liten där plastsmältan har hög skjuvhastighet. Eftertrycket kan också vara en intressant parameter att simulera och ofta korrelerar även eftertrycket relativt bra mot uppmätt glans. Speciellt för detaljer med jämn godstjocklek så kan simulering av eftertrycket ge en bra indikation på vilken mönsteravbildning som kommer att erhållas för färdig produkt. Även simulering av produktens volymetriska krymp vid utstötning av detaljen kan ge information om vilken mönsteravbildning (och därmed glans) som kan förväntas. I figur 4 visas resultat från simulering av volymetriskt krymp. Som framgår av figuren så varierar det volymetriska krympet för detta material mellan 2,8 och 4,6%.



Figur 4. Resultat från simulering av volymetriskt krymp.

Vid användning av simulerade värden för eftertryck och volymetriskt krymp så krävs dock normalt en viss erfarenhet av materialet för att veta vilka tryck och krympvärden som ger produkter med godkänd mönsteravbildning. Simulering av trycket när plasten stelnar (pressure at freeze) är därför oftast ett bättre val vid simulering av mönsteravbildning än eftertryck och volymetriskt krymp.

För att skapa ytterligare kunskap om mönsteravbildning och glans vid formsprutning så har Luleå Tekniska Universitet simulerat plastens inträngning i mönstret när plasten träffar formväggen. Detta är naturligtvis en stor utmaning eftersom mönstret har en utbredning i tre dimensioner och höjden på topparna är endast några få tiondels mikrometrar. Det har därför varit svårt att erhålla konvergens för simuleringarna men i figur 5 visas en 2-dimensionell bild av plastens inträngning i ett av Halmstad Högscolas uppmätta ytmönster. Arbetet med att simulera och analysera plastens inträngning i olika typer av ytmönster kommer att fortsätta även om projektet är slut och resultaten kommer att presenteras i en vetenskaplig artikel framöver.



Figur 5. Temperatur i plasten vid inträngning i ytmönster.

Minst 3 vetenskapliga artiklar/konferensbidrag

Resultat från projektet har presenterats vid konferensen Met&Props 2019 i Lyon, Frankrike. Resultat har även sammanställts och sänts in till den vetenskapliga tidskriften Polymer Engineering and Science. Målsättningen är att under hösten 2021 författa ytterligare 2 vetenskapliga artiklar. Resultat finns, men tiden har inte möjliggjort färdigställande av dessa artiklar innan projektets slut.

Projektet har även genererat 5 populärvetenskapliga artiklar.

Gällande bidrag till FFI:s mål så har projektet genomförts i mycket god anda och nya nätverk och kontakter har skapats. Volvo Cars, Volvo Trucks och Scania har kunnat utbyta erfarenheter och har även jämfört och korrelerat sina visuella och experimentella bedömningar av ytor och ytdefekter. Projektet har även främjat samverkan mellan industri och akademi och diskussioner pågår gällande nya undersökningar och samverkansprojekt.

Som beskrevs redan i ansökan så är interiöra komponenter med perfekt mönster och glans absolut nödvändigt för fordon inom premiumsegmentet. Projektet har tveklöst bidragit till en ökad kunskap om mönsteravbildning och glans vid formsprutning och bidrar därmed till att stärka den svenska fordonsindustriella konkurrenskraften. Ökad kunskap om formsprutning av biobaserade och återvunna material bidrar också till stärkt konkurrenskraften och de resultat som genererats inom detta område är naturligtvis av stort intresse även för företag utanför fordonsbranschen.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Projektet har tveklöst bidragit till ökad kunskap om hur olika material- och processparametrar påverkar mönsteravbildningen vid formsprutning. Resultat från projektet har effektivt spridits till svensk plastindustri genom publicering av 5 populärvetenskapliga artiklar. Ambitionen är att även författa och publicera 3 vetenskapliga artiklar.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Resultat från projektet kommer att föras vidare till andra tekniska utvecklingsprojekt hos fordonstillverkarna. Ett seminarium hölls i maj 2021 för konstruktörer och produktutvecklare hos fordonstillverkarna och detta seminarium lockade > 100 deltagare. CEVT har även tagit fram ett nytt formsprutningsverktyg för att fortsätta arbetet med simulering och prediktering av ytdefekter och glansvariationer. Resultat från projektet kommer även att användas i framtida FoU-projekt hos de akademiska parterna.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Såväl experimentella resultat från mönsteravbildning av återvunna material till numeriska resultat från simulering av ytdefekter och glans kommer att föras vidare till pågående produktutvecklingsprojekt.
Introduceras på marknaden	X	Eftersom syftet med projektet inte varit att utveckla någon ny produkt eller nytt koncept så är det kanske fel att säga att resultat från projektet kommer att introduceras på marknaden. Men resultat från projektet kommer spridas inom såväl svensk plastbearbetande industri som svensk fordonsindustri och leda till såväl kortare ledtider vid utveckling och inkörning av mönstrade fordonskomponenter som mindre kassation i samband med inkörning av nya komponenter.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut		

Resultat från projektet används i utbildningen av maskinställare vid Polymercentrum Sverige AB. Resultaten sprids därmed effektivt inom svensk plastindustri.

7.2 Publikationer

- 1. Controlling the surface texture of injection moulded automotive components**
Vijeth V Reddy, Amogh Vedantha Krishna, Anders Sjögren and Bengt-Göran Rosén
Insänd till Polymer Engineering and Science
- 2. Att finna den perfekta mönsteravbildningen**
Polymervärlden nr 8-18

3. Formsprutning av mönstrade produkter

Polymervärlden nr 6-2020

4. Plasters reptålighet

Polymervärlden nr 3-2021

5. Miljöpåverkan av formsprutgods

Polymervärlden nr 4-2021

6. Simulering av mönsteravbildning för formsprutgods

Insänd till Polymervärlden

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Trots Covid-19, och därmed begränsade möjligheter till fysiska möten, så har projektet genomförts i en mycket god anda med högt deltagande och bra engagemang vid alla Teams-möten. Projektet har resulterat i en stor mängd resultat och arbete pågår med att sammanställa och publicera en del av dessa resultat. Baserat på det arbete som utförts inom ramen för projektet så kan konstateras att det fungerar bra att åstadkomma den mönsteravbildning och glans som erfordras för formsprutade fordonskomponenter vid användning av biobaserade plaster. Vid användning av biokompositer kan dock emissioner från naturfibern utgöra ett hinder för användning i fordon. Projektet har även visat att det går att erhålla önskad mönsteravbildning och glans med återvunna plastmaterial. Eventuella variationer mellan olika batcher av återvunna material har dock inte kunnat analyseras och bör därför undersökas framöver.

En stor del av projektet har ägnats åt simulering av mönsteravbildning och glans och det verkar som att trycket i formverktyget då plasten stelnar (pressure at freeze) är en parameter som korrelerar bra med uppmätt glans. Simuleringar och experimentella tester har visat att trycket bör vara minst 10-20 MPa för amorfa termoplaster och minst 4-10 MPa för delkristallina plaster. För att erhålla korrekta värden på trycket är det dock viktigt att elementstorlek i beräkningsnätverket är liten där plastsmältan har hög skjuvhastighet. Eftertrycket kan också vara en intressant parameter att simulera och ofta korrelerar även eftertrycket relativt bra mot uppmätt glans. Speciellt för komponenter med jämn godstjocklek så kan simulering av eftertrycket ge en bra indikation på vilken mönsteravbildning som kommer att erhållas för färdig komponent. Även simulering av komponentens volymetriska krymp vid utstötning kan ge information om vilken mönsteravbildning (och därmed glans) som kan förväntas. Men vid användning av simulerade värden för eftertryck och volymetriskt krymp krävs normalt en viss erfarenhet av materialet för att veta vilka tryck och krympvärden som ger produkter med godkänd mönsteravbildning. Simulering av trycket när plasten stelnar (pressure at freeze) är därför oftast ett bättre val vid simulering av mönsteravbildning än eftertryck och volymetriskt krymp.

Även reptålighet har studerats inom ramen för projektet. Tyvärr så uppstår repor ganska lätt på plastprodukter eftersom plaster har lägre hårdhet än många andra material (t.ex. stål och glas). Repornas storlek och synlighet beror på en mängd olika faktorer och som exempel kan nämnas att låg kontaktkraft ofta resulterar i "mar repor", orsakade av plastisk deformation av plastmaterialet, medan hög kontaktkraft ofta resulterar i mikrosprickbildning och avlägsnande av material. Yttopografin för en mängd provobjekt har analyserat med hjälp av en optisk ytprofilometer och reptåligheten har undersökts genom att repa provobjekten med nålspetsar med olika diametrar. Baserat på de resultat som erhållits kan konstateras att verktygstemperaturen har stor inverkan på såväl glans som reptålighet. En hög verktygstemperatur leder till bättre mönsteravbildning och en mera gynnsam kristallstruktur i ytskiktet vilket resulterar i lägre glans och ökad reptålighet.

Vid design och konstruktion av nya plastkomponenter så är det viktigt att inte bara fundera på komponenternas funktion och estetiska egenskaper, utan även beakta deras miljöpåverkan. Miljöpåverkan av formsprutade fordonskomponenter har därför också studerats inom ramen för

projektet och det kan konstateras att vid val av plastmaterial så är det viktigt att analysera såväl mekaniska egenskaper såsom termiska egenskaper, energiåtgång vid tillverkning av plastråvaran, smältaviskositet och kyltid. Vidare så är det viktigt att fundera på möjligheten att återanvända komponenterna. Kanske går det att förbereda dem för användning i andra produkter när den första användningsfasen är över? Sedan är det även viktigt att underlätta återvinning och om målet är att använda mekanisk materialåtervinning så bör komponenterna tillverkas av så få olika material som möjligt, vara enkla att demontera, samt även vara enkla att rengöra.

Som beskrivits tidigare i denna rapport så har projektet genererat mycket resultat och arbete pågår med att sammanställa och publicera dessa resultat. Projektet är därför inte helt avslutat, även om finansieringen från FFI upphört. Som exempel kan nämnas att Halmstad Högskola och Lunds Universitet arbetar med en artikel med titeln "Correlation between 3D surface parameters and appearance-related surface properties for injection moulded components" och Luleå Tekniska Universitet planerar att författa en vetenskaplig artikel (alternativt konferensbidrag) med resultat från deras simuleringar. CEVT har tagit fram ett formsprutningsverktyg med olika processvårigheter och kommer därför att fortsätta arbetet med att hitta former för att snabbt och säkert kunna prediktera mönsteravbildning och glans för formsprutgods. Hos fordonstillverkarna fortsätter arbetet med att analysera mönsteravbildning och reptålighet för såväl nya material som återvunna material.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

CEVT

Kontaktperson:

Marcus Schill

Tel. +46 731 44 18 61

E-post: marcus.schill@cevt.se

The logo for erteco features a blue hexagonal icon with a white geometric shape inside, followed by the word "erteco" in a bold, blue, lowercase sans-serif font.

Kontaktperson:

Magnus Ullman

Tel. +46 708 58 72 15

E-post: magnus.ullman@erteco.se

The logo for Högskolan i Halmstad consists of a stylized blue geometric shape made of triangles to the left of the text "HÖGSKOLAN I HALMSTAD" in a blue, uppercase sans-serif font.

Kontaktperson:

Bengt-Göran Rosén

Tel. +46 730 33 52 72

E-post: bengt-goran.rosen@hh.se

The IAC logo features the letters "IAC" in a large, white, bold font on a grey rectangular background, followed by a graphic of horizontal lines with blue and white segments.

Kontaktperson:

Markus Akervall

Tel. +46 73 707 66 75

E-post: markus.akervall@iacgroup.com

The logo for K.D. Feddersen features the text "K.D. FEDDERSEN" in a blue, uppercase sans-serif font, with a graphic of orange and blue dots forming a diamond shape above the text. Below the text is the tagline "Think Value" in a smaller, orange font.

Kontaktperson

Dan Hagström

Tel. dan.hagstrom@kdfeddersen.com

E-post: dan.hagstrom@kdfeddersen.com



LUND UNIVERSITY

Kontaktperson:

Anders Sjögren

Tel. +46 76 898 50 92

E-post: anders.sjogren@design.lth.se



Kontaktperson:

Staffan Lundström

Tel. +46 920 49 23 92

E-post: staffan.lundstrom@ltu.se

KISTLER

measure. analyze. innovate.

Kontaktperson:

Kenneth Johansson

Tel. +46 31 87 15 04

E-post: kenneth.johansson@kistler.com

polykemi 

BRINGS OUT THE BEST IN PLASTICS

Kontaktperson:

Glenn Arvidsson

Tel. +46 706 17 97 47

E-post: glenn.arvidsson@polykemi.se



Kontaktperson:

Anna Kjernsvik

Tel. +46 8 553 89 182

E-post: anna.kjernsvik@scania.com



Kontaktperson:

Katrin Vidback

Tel. +46 34 51 76 18

E-post: kvidback@mold-tech.com

VOLVO

Volvo Car Corporation

Kontaktperson:

Sandra Tostar

Tel. +46 728 88 94 40

E-post : sandra.tostar@volvocars.com



Kontaktperson:

Urban Elfsberg

Tel. +46 31 323 10 73

E-post: urban.elfsberg@volvo.com