

Sustavne metode projektiranja proizvoda kemijske industrije

Marcelja, Marijana

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:209982>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Marijana Marcelja

**SUSTAVNE METODE PROJEKTIRANJA PROIZVODA
KEMIJSKE INDUSTRIJE**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc. dr. sc. Igor Dejanović

Članovi ispitnog povjerenstva:

Doc. dr. sc. Igor Dejanović

Prof. dr. sc. Vesna Tomašić

Doc. dr. sc. Petar Kassal

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

U ovom radu predstavljen je suvremeni pristup i alati koji se koriste prilikom osmišljavanja novih proizvoda kemijske industrije – inovacijska mapa, projektna povelja, te *Stage-Gate*TM proces razvoja proizvoda. Inovacijska mapa je alat koji pomaže pri identifikaciji veza između raznih tehnoloških izuma, kao što su materijali, proces/ proizvodnja, tehnologija proizvoda i želja kupaca, odnosno potreba tržišta ili kupca. Kontinuirano se razvija tijekom procesa projektiranja proizvoda i njegove komercijalizacije, te pomoću nje menadžment tvrtke može upravljati razvojem novih proizvoda i uočiti potrebe kupca koje nisu zadovoljene te ih postaviti kao ciljeve za iduću generaciju proizvoda.

Nakon što se inovacijska mapa procjeni kao obećavajuća, prelazi se na izradu projektne povelje čiji su ključni elementi specifični ciljevi, opseg projekta i rezultati te vremenski slijed. Projektni tim zatim identificira nove materijale, procesne / proizvodne tehnologije i tehnologije proizvoda na kojima će se temeljiti novi proizvod. Zatim usklađuje potrebe kupca s novim tehnologijama u inovacijskoj mapi.

Ukoliko se projektna povelja ocijeni obećavajućom, pristupa se *Stage-Gate*TM procesu razvoja proizvoda. *Stage-Gate*TM se sastoji od nekoliko faza (eng. *stage*) između kojih se provodi provjera jesu li ključna pitanja doneseni zadovoljavajući odgovori, te se donose odluke o prekidu projekta, ili o prijelasku u sljedeću fazu (eng. *gate*).

Metodologija je predstavljena na studiji slučaja projektiranja tanke staklene podloge LCD-a, temeljena na pretpostavljenom scenariju, jer nisu bile poznate točne informacije o razvoju proizvoda i tehnologije proizvodnje.

ABSTRACT

This study presents a contemporary approach and tools used to design new chemical products - an innovation map, a project charter, and the *Stage-Gate*™ product development process. An innovation map is a tool that helps to identify the relations between various technological inventions, such as materials, process / production, product technology and customer preference, that is, market or customer needs. It is continuously evolving throughout the product design and commercialization process, and with it management of the company can manage the development of new products and identify customer needs that are not fulfilled and set them as goals for the next generation of products.

After evaluating the innovation map as promised, it goes on to develop a project charter whose key elements are specific objectives, project scope and results, and timing. The project team then identifies new materials, process / manufacturing technologies and product technologies that will be the basis for the new product. It then aligns the customer's needs with the new technologies in the innovation map.

If the project charter is considered reliable, the *Stage-Gate*™ product development process is initiated. *Stage-Gate*™ consists of several stages, during which it is checked that key questions have been answered satisfactorily and decisions are made to interrupt the project or to move to the next stage.

The methodology was presented in a case study of the design of a thin glass substrate LCD, based on the assumed scenario, because the exact information on product development and production technology was not known.

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
2. PREGLED DIZAJNA PROIZVODA	2
2.1. Inovacijska mapa i vrste kemijskih proizvoda	2
2.1.1. <i>Inovacijska mapa</i>	3
2.1.2. <i>Vrste kemijskih proizvoda</i>	4
2.1.3. <i>Inovacijska mapa osnovnih kemijskih proizvoda</i>	5
2.1.4. <i>Inovacijska mapa kemijske industrije</i>	6
2.1.5. <i>Inovacijska mapa konfiguriranih potrošačkih kemijskih proizvoda</i>	7
2.2. Okviri za proizvodnju i tehnološki razvoj.....	9
3. KORACI U RAZVOJU PROIZVODA.....	11
3.1. Projektna povelja i nove tehnologije.....	12
3.1.1. <i>Projektna povelja</i>	12
3.1.2. <i>Nove tehnologije</i>	13
3.2. Postupak razvoja proizvoda <i>Stage-Gate™</i> (SGPDP)	14
3.2.1. <i>Faza koncepcije</i>	15
3.2.2. <i>Faza izvodljivosti</i>	24
3.2.3. <i>Faza razvoja</i>	25
3.2.4. <i>Faza proizvodnje</i>	25
3.2.5. <i>Faza uvođenja proizvoda na tržište</i>	26
4. PROJEKTIRANJE PROIZVODA ZA KEMIJSKU INDUSTRIJU	28
4.1. Nove tehnologije za kemijsko industrijske proizvode	31
4.1.1. <i>Inovacijska mapa za tanke staklene ploče u LCD-ovima</i>	32
4.1.2. <i>Podloga tankog stakla</i>	32
4.1.3. <i>Inovacijska mapa za tanke staklene podloge u LCD-u</i>	33
4.1.4. <i>Razvoj tehnologije materijala</i>	34
4.1.5. <i>Procesna/proizvodna tehnologija: Corning proces stapanja stakla</i>	36
5. STUDIJA SLUČAJA LCD STAKLA	37
5.1. Projektna povelja.....	37
5.2. Faza koncepcije	38
5.3. Faza izvedivosti.....	45
5.4. Faza razvoja	48
5.5. Faza proizvodnje.....	49

5.6. Faza uvođenja proizvoda na tržište.....	49
6. ZAKLJUČAK.....	50
7. LITERATURA.....	52

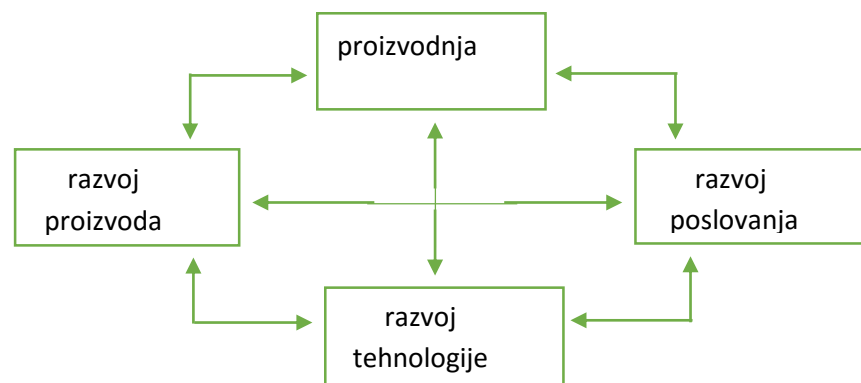
1. UVOD

Prilikom lansiranja novog proizvoda na tržište potrebno je prethodno uskladiti potrebe tržišta s tehnološkim izumom što dovodi do inovacijske mape. Uloga inovacijske mape je povezati tehnološke komponente razvoja proizvoda s njihovim tehnološkim diferencijacijama, kao i sa zadovoljstvom kupaca. Ponajprije projektni tim identificira nove tehnologije materijale, procesne/proizvodne tehnologije i tehnologije proizvoda na kojima će se temeljiti novi proizvod. Kada se to ocijeni kao dovoljno obećavajuće, može se kreirati početna inovacijska mapa i pokrenuti *Stage-Gate*TM proces razvoj proizvoda (SGPDP-a). SGPDP se sastoji od pet faza, a između svake faze se vrši pregled prolaza kojim se odlučuje hoće li se unaprijediti projekt dizajna u sljedeću fazu ili će se otkazati. Kako bi se olakšalo ocjenjivanje osmišljeno je nekoliko zadataka koji bi se trebali postići u svakoj pojedinoj fazi. Svakim prolazom se smanjuje rizik provjerom proizvodnosti i usklađivanjem veličine mogućnosti i svojstava proizvoda, i performansi s potrebama kupaca.

U ovom završnom radu obrađuje se studija slučaja LCD stakla. Kako bi izgledala inovacijska mapa Corningovog LCD, kakav bi bio tijek formiranja proizvoda i što bi obuhvaćale faze *Stage-Gate*TM proces razvoj proizvoda.

2. PREGLED DIZAJNA PROIZVODA

U velikoj proizvodnoj korporaciji infrastruktura poslovne jedinice se sastoji od sektora proizvodnje, razvoja poslovanja, razvoja tehnologije i razvoja proizvoda, koji bi trebale međusobno surađivati. Uloga poslovnog razvoj uključuje razvoj novog poslovanja, prodaju i marketing, glavne subjekte i akvizicije. Da bi se to postiglo, poslovni stručnjaci su aktivni u izgradnji i upravljanju odnosima te u predviđanju poslovnih promjena. Paralelno s tim, uloga razvoja tehnologije u tipičnoj kompaniji uključuje strateško tehnološko planiranje, razvoj novih tehnologija, komercijalizaciju tehnologije i zaštitu tehnologije. Zatim uloga razvoja proizvoda uključuje strateško planiranje proizvoda, razvoj novih proizvoda, lansiranje proizvoda, usluge kupcima i zaštitu proizvoda. Stručnjaci za razvoj proizvoda fokusiraju se na proizvode dok su poslovni razvoj i tehnološki stručnjaci aktivni u upravljanju poslovnim odnosima i tehnologijom. Konačno, uloga proizvođača je strateško planiranje proizvodnje, razvoj novih proizvodnih procesa i kvalifikaciju, razvoj lanca proizvodnje, nabavu sirovine i osiguranje kvalitete proizvoda.



Slika 1. Infrastruktura poslovne jedinice

2.1. Inovacijska mapa i vrste kemijskih proizvoda

Inovacijska mapa je alat koji pomaže pri identifikaciji veza između raznih tehnoloških izuma, kao što su materijali, proces/ proizvodnja, tehnologija proizvoda i želja kupaca, odnosno potreba tržišta ili kupca. Također može biti upotrebljena za identifikaciju određenog svojstva proizvoda te strategije za zaštitu tehnološkog izuma.

Veoma je bitna razlika između pojmova izum i inovacija. Izum se odnosi na znanstveno otkriće koje ima jasnu tehničku prednost u odnosu na trenutno stanje tehnologije i općenito je zaštićeno patentom. Dok se inovacija odnosi na stvaranje poslovne/ ekonomske vrijednosti kroz

diferencijacije (tehničke, poslovne, prodajne, marketinške...). Cilj diferencijacije proizvoda je postizanje razlike između razvijenog proizvoda i sličnih proizvoda konkurentskih kompanija. ¹

2.1.1. Inovacijska mapa

Proces razvoja proizvoda može biti pokretan tehnologijom ili tržištem. Razvoj novih proizvoda pokretan tržištem započinje s poznatim tržišnim potrebama ili potrebama kupca za određenim rješenjem. Dobar primjer tržišne tehnologije je Scotch Magic Tape. Godine 1959., kada je fotokopirni uređaj Xerox s običnim papirom pomoću kserografije počeo zamjenjivati fotokopirni aparat Photostat, počelo je novo razdoblje. Potrošači bi mogli za potrebe kopiranja koristiti izrezane dijelove iz raznih izvora. Dijelovi bi se mogu direktno zalijepiti na papir ili pričvrstiti celofanskom trakom. Međutim, na kopiji uređaja Xerox jasno bi se vidjeli obrisi dodanih dijelova, ako bi se zalijepili celofanskom trakom. Scotch Magic Tape je traka koja sa svojim hladnim mat izgledom i odsustvom acetata koji reflektira svjetlo nije nevidljiva na Xerox kopiji. S druge strane razvoj novih proizvoda pokretan tehnologijom, počinje tehnološkim izumom koji uključuje materijale, procesnu/proizvodnu tehnologiju i/ili tehnologiju proizvoda. Takav je izum bio PC (osobno računalo), čiju je budućnost 1962. godine predvidio John W. Mauchly, koji je 1944. na Sveučilištu u Pennsylvaniji, s J. Presper Eckertom, osmislio ENIAC, prvo općenamjensko, elektroničko, digitalno računalo. U to vrijeme, buduće potrebe za računalima predviđalo je vrlo malo prognostičara. U oba slučaja potrebno je uskladiti potrebe tržišta s tehnološkim izumom. Ta veza dovodi do inovacije proizvoda, a inovacijska mapa ju omogućuje. Međutim, u poslovnom svijetu se te veze teško uspostave jer su razvoj tehnologije i analiza tržišta često u različitim sektorima. Tako se na primjer u mnogim kompanijama analizom tržišta bavi sektor za razvoj poslovanja (prodaja i marketing), dok se tehnologijom bavi isključivo odjel istraživanja i razvoja. Dok se sektor istraživanja i razvoja često fokusira na tehnološku diferencijaciju proizvoda, bez da ta poboljšanja na adekvatan način pretvori u vrijednost za kupca (bez fokusiranja na predstavljanje vrijednosti za kupca ili eng. *customer-value proposition*), s obzirom na to da poboljšanja u svojstvima proizvoda često vode do povećanja njegove cijene, što kupci ponekad nisu spremni platiti. S druge strane, ukoliko se odjel za razvoj poslovanja u potpunosti fokusira na stvaranje vrijednosti za kupce, može podcijeniti prednosti tehnološke diferencijacije. Na primjer izofilinska kiselina je prvi put proizvedena 1955. kao odlična zamjena za dobro uspostavljen proizvod ftalični anhidrid, jer je kiselina bila očigledno superiorna u odnosu na anhidrid (za primjenu u sintetičkim premazima za drvo i metal, kućnu boju, automobile i uređaje te plastične predmete kao što su prtljaga i

lagani čamci). Međutim, potrošači nisu bili spremni platiti 15 posto veću cijenu za kiselinu i proizvodnja je na kraju bila obustavljena.

Inovacijska mapa povezuje tehnološke komponente razvoja proizvoda s njihovim tehničkim prednostima (pokazuje tehnološku diferencijaciju), kao i sa zadovoljstvom kupaca. Izrada inovacijske mape počinje identifikacijom njezinih šest slojeva i različitih elemenata povezanih sa svakim od slojeva:

- 1. Tehnologija materijala:** materijali koji omogućuju novi proizvod.
- 2. Procesna/proizvodna tehnologija:** procesi koji omogućuju proizvodnju novog proizvoda ili njegovih komponenti.
- 3. Tehnologija proizvoda:** Komponente ili prekursori proizvoda; namijenjeno za poslovne, a ne krajnje korisnike.
- 4. Prijedlog tehničke vrijednosti:** tehnička diferencijacija i prednosti.
- 5. Proizvodi:** sam proizvod, skupina proizvoda ili platforma proizvoda.
- 6. Prijedlog vrijednosti za kupca:** atributi proizvoda, prednosti i diferencijacija izraženi s gledišta kupca.

Kad se pojedini elementi identificiraju i postave na odgovarajuće slojeve u mapi, identificira se međusobna povezanost kako bi se pokazalo međudjelovanje tehnoloških elemenata, tehnološke vrijednosti i vrijednosti za kupca.

Inovacijska mapa se kontinuirano razvija tijekom procesa dizajna proizvoda i njegove komercijalizacije. Pomoću nje menadžment tvrtke može upravljati razvojem novih proizvoda, i uočiti potrebe kupaca koje nisu zadovoljene te ih postaviti kao ciljeve sljedeće generacije proizvoda.

2.1.2. Vrste kemijskih proizvoda

Općenito opseg kemijskih proizvoda izuzetno je širok te se mogu grubo klasificirati na (1) osnovne kemijske proizvode, (2) industrijske proizvode i (3) konfigurirane potrošačke proizvode. Osnovni kemijski proizvodi proizvedeni su iz prirodnih resursa. Uključuju robne i specijalne kemikalije (npr. robne kemikalije - etilen, aceton, vinil klorid; specijalne kemikalije - difluoroetilen, etilen glikol monometil eter, dietilketon), biomaterijale (npr. lijekove, tkivne implantate) i polimerne materijale (npr. etilen, kopolimeri, polivinil klorid [PVC], polistiren). Oni obično uključuju dobro definirane molekule i smjese molekula te se ne prodaju izravno potrošaču. Proizvodnja proizvoda kemijske industrije počinje s osnovnim kemijskim proizvodima. Karakteriziraju ih termofizička i transportna svojstva (poput osnovnih kemikalija), druga svojstva su obično dominantna u zadovoljavanju potreba kupaca, uključujući

mikrostrukturu, distribuciju veličine čestica i funkcionalna, senzorska, reološka i fizička svojstva. Poput osnovnih kemikalija, potrošač ne kupuje velike količine industrijskih kemikalija. Konačno, konfigurirani potrošački kemijski proizvodi proizvedeni su od osnovnih kemijskih i industrijskih kemijskih proizvoda. To uključuje uređaje za dijalizu, ručne grijače, Post-it note, ink-jet patrone, odvojive zidne vješalice, solarne uređaje za desalinizaciju, prozirnice za projektore, zakrpe za isporuku lijekova, gorive ćelije, kozmetiku, deterdžente, farmaceutske proizvode, itd. Konfigurirani potrošački kemijski proizvodi obično se prodaju potrošaču. U većini slučajeva karakteriziraju ih svojstva slična onima kod industrijskih kemikalija i, u nekim slučajevima, njihove trodimenzionalne konfiguracije su ključne za zadovoljavanje potreba potrošača. ¹

2.1.3. Inovacijska mapa osnovnih kemijskih proizvoda

Budući da su osnovne kemikalije obično dobro definirane molekule i njihove smjese, bez kompliciranih funkcionalnih, senzorskih, reoloških i fizičkih svojstava koja karakteriziraju industrijske kemikalije i konfigurirane potrošačke kemijske proizvode, tehnološki izumi se obično povezuju s novim materijalima, a rjeđe s novim procesnim / proizvodnim tehnologijama i tehnologijama proizvoda. Stoga su njihove inovacijske mape najčešće najjednostavnije.

Počevši od 1930-ih, Thomas Midgely, Jr., nastojao je razviti proizvod koji bi bio rashladno sredstvo za širok raspon kućanskih, automobilskih i industrijskih aplikacija. Tijekom sljedećih 50 godina to je dovelo do nekoliko izuma koji su, iako uspješni u mnogim aspektima, doveli do ozbiljnih problema s oštećenjem ozona u stratosferi Zemlje. Posljedično, osamdesetih godina prošlog stoljeća postalo je nužno pronaći alternativne, ekološki sigurne radne tvari. Kupci u početku traže jeftinije hlađenje i klimatizaciju, uključujući neotrovne kemikalije koje su sigurne (odnosno nezapaljive), a zatim dodaju zahtjeve za izbjegavanje oštećenja ozonskog omotača i proizvodnju smoga. U međuvremenu, Midgely je započeo ograničavati svoju potragu na spojeve koji uključuju C, N, O, S i H atome s halogenima F i Cl, koji imaju visoke latentne temperature isparavanja, nisku viskoznost i niske točke taljenja. Osamdesetih godina prošlog stoljeća, kada su identificirani problemi s ozonom i smogom, pretraga je bila ograničena na spojeve koji uključuju C, H i F, na kraju s dodatkom O i S, ali izostavljajući Cl.

U početku, inovacijska mapa pokazuje rane tehnologije i kako su one povezane s prvim proizvodima koji zadovoljavaju potrebe potrošača. Zatim pokazuje kako su nove tehnologije dovele do proizvoda koji su zadovoljili potrebe koje nisu bile predviđene u početku. Kada se želi stvoriti nova generacija novih proizvoda, dizajnerski tim smatra korisnim identificirati

najnovije dostupne tehnologije za lakše razumijevanje potreba potrošača. Dok započinje s dizajnom proizvoda, postupno nastoji ispuniti nove tehnologije i potrebe kupaca te stvoriti izvanredne nove proizvode koje ih povezuju. Ukratko, kada se počinje razvijati novi proizvod, inovacijska mapa može pomoći u predlaganju novih proizvoda koje obuhvaćaju navedene veze. Postupno, tijekom procesa razvoja proizvoda, tehnologije i potrebe kupaca mogu se unaprijediti, što dovodi do poboljšanja proizvoda. ²

2.1.4. Inovacijska mapa kemijske industrije

Proizvodnja industrijskih kemijskih proizvoda počinje s osnovnim kemijskim proizvodima, a uključuje filmove, vlakna, papir, kreme, paste... Industrijske kemikalije obično su karakterizirane svojstvima koja su iznad vrijednosti molekularne strukture i sastava. Primjerice, paste i kreme su koloidi koji su karakterizirani mikrostrukturama i raspodjelom veličine čestica među ostalim svojstvima. Često, da bi se postigle stabilne emulzije ili slično, novi proizvodi uključuju oblikovanje novim postupcima / tehnikama proizvodnje, kao što su naprave za miješanje i ekstruziju na mikro skali.

Tanka staklena podloga na LCD zaslonima je aktivno- matrični zaslon s tekućim kristalima (AM-LCD) koji se sastoji od dva sloja stakla između kojih je smješten materijal s tekućim kristalima. Prednji stakleni sloj odnosno prednja ploča ima ugrađen filter boja, a stražnja ploča to jest stražnji sloj stakla ima ugrađene elektronske prekidače (elektrode i tranzistore). Stražnja ploča na koju se nanosi amorfnu silicij mora imati određena svojstva. Ukratko, proizvođači ploča zahtijevaju da LCD staklene podloge imaju visoku toplinsku i dimenzijsku stabilnost, visoku izdržljivost (kada su izložene kemikalijama za jetkanje), da nisu alkalne i da budu kompatibilne s procesima koji proizvode prednji i stražnja ploča. Vodeća na tržištu od 1980. postaje Corning Incorporated kompanija koja uvodi inovacijsku mapu koja prati razvoj proizvoda prednjih i stražnjih LCD ploča. Na najnižoj razini inovacijske mape, Corning je 1987. godine uveo staklenu podlogu Corning-7059, staklo barij-borov silikat ($\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$). Nažalost, iako koristeći djelotvoran proces visokog viskoziteta stapanja stakla, koeficijent toplinskog širenja (CTE) je bio previsok, uzrokujući deformaciju pri niskim temperaturama. Na najvišoj razini inovacijske mape zadovoljena je potreba kupaca za transparentnim i slobodnim alkalijama, ali nije osiguran dovoljno nizak koeficijent toplinskog širenja (CTE) i trajnost pri izloženosti kemikalijama. Kako bi zadovoljili ove potrebe kupaca, Corning je 1994. uveo tri nova proizvoda na temelju novih tehnologija materijala. Stakleni supstrat Corning-1737 zamijenio je BaO optimiziranom mješavinom četiriju zemnoalkalnih

spojeva: MgO, CaO, SrO i BaO, što je omogućilo poboljšanje tehničkih razlika, odnosno niži koeficijent toplinskog širenja (CTE), s višom točkom deformacije, nižom gustoćom, većom izdržljivošću i vrlo visokom viskoznošću likvidusa koja omogućava precizno oblikovanje lima. Nakon toga, Corning je 2000. godine uveo Eagle 2000 LCD supstrate, koji su zamijenili sav BaO i većinu SrO s CaO, što je dodatno smanjio koeficijent toplinskog širenja (CTE) i gustoću, te dodatno povećalo temperaturu deformacije. Dodatno, količina borovog oksida je povećana kako bi se minimizirala temperatura likvidusa i smanjila točka taljenja. Također, u tom razdoblju, Corning je podnio patente o novom procesu stapanja stakla (to jest, novoj tehnologiji proizvodnje), u kojoj se rastaljena staklena smjesa dovodi do korita, nazvanog izopip. Rastaljeno staklo se ravnomjerno prelijeva preko dvije uzdužne strane izopipa, spajajući se neposredno ispod donjeg vrha izopipa. Budući da se staklo formira na slobodnoj granici, izloženo samo zraku, njegova površina ostaje bespriječna i glatka, ne zahtijevajući poliranje ili brušenje. Još jedna velika prednost procesa izo-cijevnog stapanja je njegova stabilnost s obzirom na veličinu (širinu) i debljinu kako bi se zadovoljile potrebe tržišta za većim i tanjim zaslonima (oko 100 μm). To je ključna tehnička diferencijacija, koja je zajedno s novim boro-silikatnim staklom bez arsena, antimona i barija dovela do novog Corning proizvoda, EagleXG, koji je također zadovoljio i nove potrebe kupaca za očuvanjem okoliša.³

2.1.5. Inovacijska mapa konfiguriranih potrošačkih kemijskih proizvoda

Mnogi konfigurirani potrošački kemijski proizvodi imaju trodimenzionalnu konfiguraciju, koja uvodi još jednu mogućnost za tehnički izum nazvanu proizvodnom tehnologijom. Na primjer, kod dizajniranja halogenih žarulja kako bi se osigurao dulji vijek trajanja i mekše boje osvjetljenja potrebno je, osim normalnog primarnog kućišta, na visokim radnim temperaturama upotrijebiti sekundarno kućište kako bi se spriječile opekline. Počevši od ranih 1800-ih, Humphrey Davy je stvorio svjetlo propuštajući električnu struju kroz platinastu nit, s toplinom proizvedenom zračnom svjetlošću u vidljivom području. Zatim, osamdesetak godina kasnije, proizvedene su žarulje niske potrošnje pomoću ugljičnih vlakana, međutim njihovi proizvodi su izgaranjem obojili žarulje u crnu boju. Taj nedostatak je riješen 1903. godine, kada je William Coolidge osmislio poboljšanu metodu izrade volframovih niti, koja je nadživjela sve ostale vrste filamenata, omogućujući Coolidgeu da proizvodi praktične žarulje. Ubrzo nakon toga, 1906. godine, tvrtka General Electric patentirala je metodu izrade volframovih niti za uporabu u žaruljama sa žarnom niti. Volframove niti nude visoku temperaturu taljenja i niske tlakove pare, što rezultira nižom brzinom isparavanja volframove pare te samim time smanjenim crnjenjem. Nakon toga, drugi istraživač GE-a, Irving Langmuir, potisnuo je

isparavanje volframa punjenjem žarulje inertnim plinom koji ne bi zapalio nit. Međutim, inertni plin cirkulirao je u žarulji, oduzimajući previše topline, što je zauzvrat značajno smanjilo svjetlinu žarulje. Da bi se smanjili gubici topline, Langmuir je izumio žicu s čvrstom zavojnicom, što je osnova za moderne žarulje sa žarnom niti.

Kupac u početku zahtjeva žarulje koje traju 750 sati, svestranog oblika, s različitim svjetlosnim kvalitetama i po niskoj cijeni. Te su potrebe naposljetku zadovoljene napredovanjem izuma koji uključuju uporabu volframa, inertnih plinova i Coolidge procesa za proizvodnju duktilnih volframovih šipki. Do 1980-ih, potrebe kupaca bile su proširene te su uključivale dugotrajne žarulje, reda veličine 2.000 sati, s poboljšanom kvalitetom svjetla, uključujući tople, hladne i dnevne kvalitete. Da bi se ispunili ovi zahtjevi, Fredericka Mosbyja otkriva da halogeni plinovi reagiraju s volframom na visokoj temperaturi (oko 3,100 K) u kemijskoj ravnoteži, dopuštajući da se volframove pare redeponiraju na volframovoj niti, što predstavlja ključnu materijalnu tehnologiju. To je, zajedno s primarnim kvarcnim kućištem koje sadrži vruće plinove, dalo tehničke razlike, to jest visokotemperaturne reakcije i ravnoteže koje su dovele do nove tehnologije proizvoda, odnosno do malih proizvoda s halogenom žaruljom koji su zadovoljili potrebe kupaca.

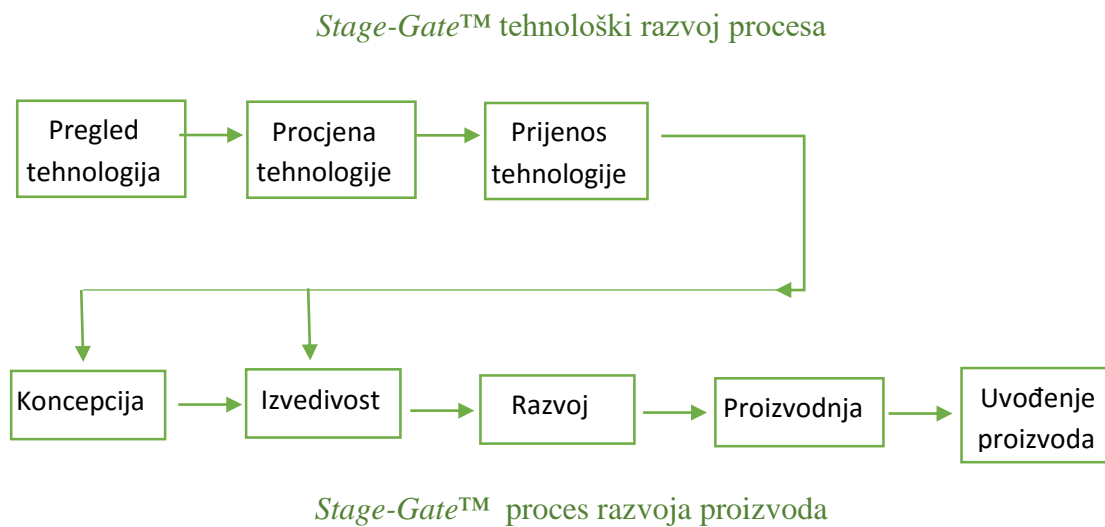
Tijekom druge polovice 20. stoljeća razvila se konkurentna tehnologija, fluorescentno svjetlo. Ono uključuje plinsku svjetiljku koja koristi električnu energiju koja teče između elektroda na oba kraja fluorescentne cijevi, pobuđujući živinu paru te tako proizvedeći kratkovalnu svjetlost ultraljubičastih fotona. Fotoni se sudaraju s premazom fosfora unutar fluorescentne cijevi, stvarajući svjetlo u vidljivom području. Za uključivanje fluorescentne svjetiljke potreban je magnetni balast. Na taj se način nadopunjuju i inovacijske mape. Potrebe kupaca su bile žarulje s duljim vijekom trajanja, veće od 8.000 sati, posebno za prikaz i industrijsko osvjetljenje, kao i povećanu energetska učinkovitost. Tehnologije novih materijala uključivale su živu, u malim netoksičnim količinama, i fosfore koji su zajedno s fosfornim premazima, pohranjeni korištenjem nove tehnologije proizvodnje, kako bi se dobio odabrani frekvencijski raspon odnosno željena tehnička diferencijacija. U novije vrijeme, kada su se potrebe potrošača proširile na kompaktne žarulje koje bi se uklopile u standardne svjetiljke, izumljen je novi elektronički balast, kao nova tehnologija proizvoda. To je eliminiralo sporo pokretanje i treperenje fluorescentnih cijevi te dopušteno uvođenje kompaktne fluorescentne svjetiljke (CFL). Početkom 2000-ih godina, nova tehnologija za kućnu rasvjetu je rasvijeta temeljena na LED osvjetljenju, tehnologija čvrstog stanja (bez pokretnih ili labavih dijelova) koja je formirana pomoću poluvodičkih materijala grupe III-V. Kako struja prolazi kroz p-n

spojeve stvorene u tim materijalima, emitira se svjetlo. Ovisno o izboru materijala (GaP, GaAs, AlGaAs, AlInGaP) proizvode se različita monokromatska svjetla (crvena i žuta). Uvođenjem GaN-a ponuđena je sposobnost proizvodnje plavih i zelenih LED dioda. Za kućnu rasvjetu, bijele LED diode proizvode se ugradnjom fosfora u materijale za kapsuliranje (epoksidne smjese) i korištenjem leća za upravljanje svjetlom. Potrebe potrošača se proširuju i na žarulje s duljim vijekom trajanja koje prelaze 20.000 sati, uz visoku energetska učinkovitost. Tehnologije novih materijala uključuju spojeve Ga, P, As, Al, In i N. Te nove tehnologije osiguravaju monokromatsko svjetlo i hladno osvjetljenje, dvije tehničke razlike. Glavna prednost LED rasvjete u odnosu na volframove niti, je trajnost izvora svjetlosti (LED čip), koji daje životni vijek veći od 20.000 sati. Nadalje, energetska učinkovitost LED svjetla ovisi o upravljanju toplinom putem materijala za kapsuliranje. Kao što je već spomenuto, evolucija inovacijske mape je korisna nakon što se s vremenom uvede niz novih proizvoda. Za dizajnerski tim važna je svjesnost povijesti prije pozicioniranja novih tehnologija, potreba kupaca te potencijalnih proizvoda koji ih povezuju.⁴

2.2. Okviri za proizvodnju i tehnološki razvoj

Posljednjih godina, mnoga su poduzeća usvojila Stage- GateTM proces razvoj proizvoda (SGPDP). Cooper (2001) uvodi Stage- GateTM tehnološki razvojni proces (SGTDP) te oni zajedno pružaju kombinirani okvir za procese razvoja tehnologije i proizvoda. Tehnološki opseg je relativno jeftin stadij kratkog trajanja koji uključuje generiranje ideja, pretraživanje literature i procjenu alternativnih načina provođenja projekta razvoja tehnologije. Faza procjene tehnologije je opsežnija jer je osmišljena kako bi pokazala tehničku izvedivost odnosno pokazuje da nova tehnologija funkcionira ispravno i da zaslužuje daljnju pozornost. Faza prijenosa tehnologije obično uključuje puno eksperimentalno i/ili računalno istraživanje kako bi se unaprijedila tehnologija i opravdala identifikacija potencijalne primjene, proizvoda i / ili novih tehnologija proizvodnje. Tijekom ove posljednje faze mogu se identificirati i definirati potencijalni novi proizvodi, uz provedbu preliminarnih analiza tržišta i poslovanja. Često se identificiraju veze s potencijalnim poslovnim partnerima i istražuju njihovi potencijalni interesi za transfer tehnologije. Važno je napomenuti da svi tehnološki napori ne donose nove proizvode odmah. Često nove tehnologije, iako uspješno demonstrirane, ispred svog vremena, ne pronalaze mjesto na tržištu i dugo nakon što su se razvile. Zapravo, neke nove tehnologije nikada ne stignu na tržište, ili brzo propadaju na tržištu, zbog nedostatka prihvaćanja kupaca, poslovne nemogućnosti, ili zastarjelosti u odnosu na druge nove tehnologije. Kao što prikazuje

slika 2., SGPDP se sastoji od pet faza: koncepcije, izvedivosti, razvoja, proizvodnje i uvođenja proizvoda.⁵



Slika 2. *Stage-Gate™* okvir za tehnološki i proizvodni razvoj

3. KORACI U RAZVOJU PROIZVODA

Prema Cooperu, za učinkovito stvaranje novih proizvoda tijekom mnogo godina i desetljeća, važno je stvoriti uzajamni lanac razvoja istih, čija efikasnost ovisi o četiri ključna čimbenika.

1. **Okruženje za inovacije.** Cilj je postići okruženje pogodno za inovacije koje uključuje ljude na svim razinama. U brojnim slučajevima poznata su uspješna poduzeća koja nagrađuju svoje zaposlenike za preuzimanje rizika.
2. **Strategije proizvoda i tehnologije.** Iz perspektivne poslovnog upravljanja, jasna definicija poslovnih ciljeva i strategija je podjednako djelotvoran način stvaranja okruženja za uspješan razvoj proizvoda. Kako se proizvodi definiraju, važno je njihovo uvođenje u nove strategije razvoja proizvoda i tehnologija.
3. **Upravljanje resursima.** Odnosi se na pridržavanje discipliniranog upravljanja portfeljem proizvoda i tehnologija poduzeća. To uključuje pažljivu raspodjelu resursa u prioritetne programe za postizanju poslovnih ciljeva.
4. **Okvir za razvoj tehnologija i proizvoda.** Prepoznaje potrebu za usvajanjem procesa na razini cijelog poduzeća za provedbu, praćenje i procjenu napora u razvoju tehnologija i proizvoda.

Za četvrtu stavku, ključni čimbenik bio je utjecaj globalizacije, koja je značajno povećala svjetsku konkurenciju. To je, zauzvrat, dovelo do povećanih pritisaka da se smanji vrijeme izlaska na tržište uz istovremeno povećanje stope uspješnosti uvođenja novih proizvoda, i do potrebe za univerzalnim okvirima za razvoj proizvoda i tehnologije, kako bi se upravljalo, nadziralo i kontroliralo provođenje strategija razvoja proizvoda/tehnologija.

Poslovni uspjeh komercijalizacije novih proizvoda ovisi o dva faktora, (1) odabiru ideja novih proizvoda koje treba razviti i (2) izvršenju transformacije ideja u proizvode. Pretpostavlja se da je strateški odabir tih ideja ostvaren, što je izvan rasprave. Umjesto toga, fokus je na izvršavanju *Stage-Gate*TM procesa razvoja proizvoda.

Postoje dva glavna poticaja za usvajanje sustavnog procesa razvoja proizvoda kao što je SGPDP.

1. **Smanjenje vremena potrebnog za razvoj novog proizvoda.** Vrijeme razvoja proizvoda ovisno o tipovima novih proizvoda kreće se od nekoliko mjeseci (manje izmjene postojećih proizvoda) do nekoliko godina (novi proizvodi za nova tržišta). Budući da su je razvoj potpuno novih proizvoda često zbog istodobnog razvoja

tehnologija na kojima se temelje, oni se često izbjegavaju. Idealno, razvoj tehnologija prethodi razvoju novih proizvoda.

- 2. Povećanje stope uspješnog plasmana novih proizvoda na tržište.** Tijekom procesa razvoja proizvoda, prije velikih ulaganja, važno je provjeriti izvedivost proizvoda, njegove kritične parametre za proizvodnju i veličinu tržišta. SGDPD je osmišljen kako bi smanjio rizike tijekom razvoja, to jest povećao vjerojatnost uspjeha. Nadalje, kako se proizvodi razvijaju, nije neuobičajeno da se veličina tržišta smanji. Često se prave vrijednosti bolje definiraju kao mogući tržišni segmenti. Proizvod s dobrom vjerojatnosti uspjeha i prilikom plasiranja na tržište često je dobra mjera za razvoj novih proizvoda.⁶

3.1. Projektna povelja i nove tehnologije

S izgradnjom lanca proizvodnje za razvoj novih proizvoda, formiraju se dizajnerski timovi koji započinju rad izradom projektne povelje.

3.1.1. Projektna povelja

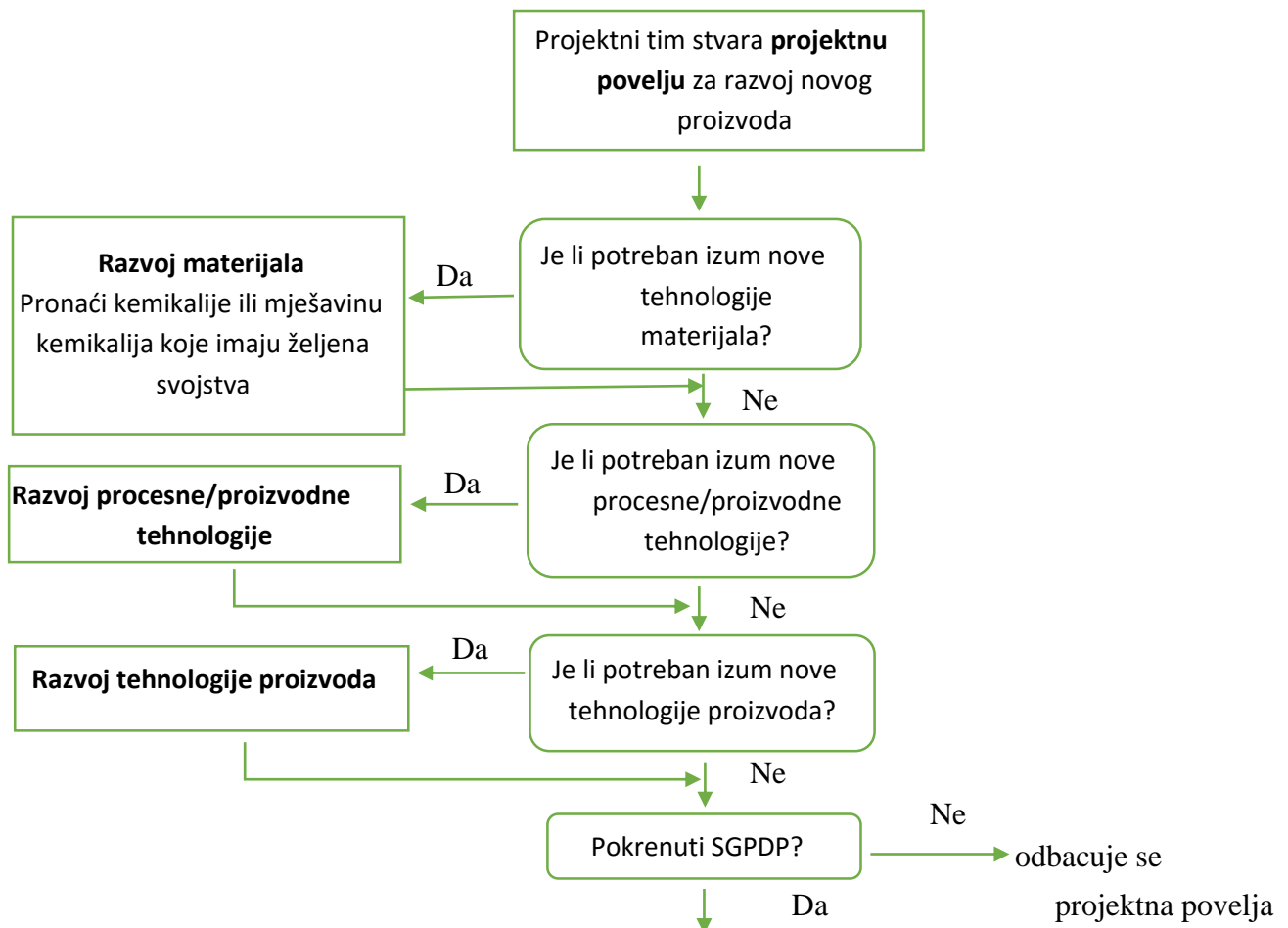
Projektna povelja je polazna točka za poduhvate u razvoju proizvoda. Njeni ključni elementi su specifični ciljevi, opseg projekta i rezultati te vremenski slijed. Dizajnerski timovi prilikom izrade projektne povelje često nastoje slijediti SMART princip odnosno usredotočiti se na specifične, mjerljive, dogovorene, realistične i vremenske aspekte dizajna proizvoda (specific, measurable, agreed-upon, realistic, time-basic). **Specifičnost** podrazumijeva da je povelja dobro definirana i jasna osobi s osnovnim znanjem o projektu. Pojam **mjerljiv** podrazumijeva da su poznati, jasni pokazatelji dostupni za označavanje kada su postignuti ciljevi projekta. **Dogovoreno** podrazumijeva da su svi sudionici suglasni s ciljevima projekta. Pojam **realan** podrazumijeva da se ti ciljevi mogu postići pomoću dostupnog znanja, vremena i resursa. I na kraju, pojam **vremenski određen** podrazumijeva da su podaci za dovršenje cjelokupnog projekta i njegove faze ispravni.

Određivanje specifičnih ciljeva vrlo je važno da bi se spriječio tzv. pužanje opsega projekta. Često se ovi ciljevi izražavaju navođenjem ciljeva projekta ili, alternativno, postavljanjem nekoliko pitanja na koja treba odgovoriti tijekom projekta. Opseg projekta definira granice projekta. Granice projekta se mijenjaju kako se projekt razvija, isto tako početni opseg se često mijenja kako se dizajn proizvoda nastavlja. Također je korisno klasificirati elemente kao unutar ili izvan opsega, odnosno je li neka informacije potrebna za naš projekt ili nije.⁷

3.1.2. Nove tehnologije

Kada projektni tim počinje s radom pretpostavlja se da je većina tehnoloških izuma na mjestu. Prije nego što se odluči nastaviti s SGPDP-a, SGTDP mora biti dovršen. Ukratko, projektni tim identificira nove materijale, procesne/proizvodne tehnologije i tehnologije proizvoda na kojima će se temeljiti novi proizvod. Zatim, usklađuje potrebe kupca s novim tehnologijama u inovacijskoj mapi.

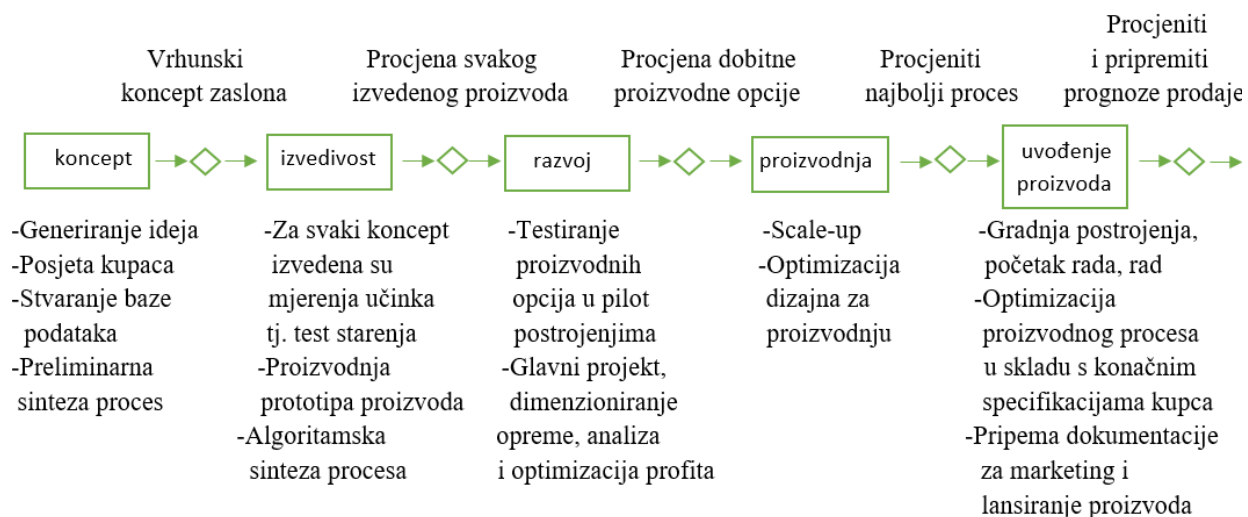
Slika 3. prikazuje korake u izradi projektne povelje i identificira nove tehnologije na kojima će se novi proizvod temeljiti. Nakon što je stvorena projektna povelja, pri dizajniranju konfiguriranog potrošačkog proizvoda, projektni tim identificira nove materijale, procesne/proizvodne tehnologije i tehnologije proizvoda. Kada se to ocijeni kao dovoljno obećavajuće, može se kreirati početna inovacijska mapa i nastaviti s pokretanjem SGPDP-a. ⁶



Slika 3. Koraci pri kreiranju projektne povelje i identificiranju novih tehnologija

3.2. Postupak razvoja proizvoda *Stage-Gate*TM (SGPDP)

*Stage-Gate*TM nudi putokaz za pretvaranje novih ideja u proizvode koji zadovoljavaju potrebe kupaca. SGPDP uspješno koriste kompanije širom svijeta, često prilagođene specifičnim potrebama i okruženjima. SGPDP se sastoji od nekoliko faza, između kojih se provode pregledi u kojima su uključeni ključni sudionici i donositelji odluka iz poslovnih, tehničkih, proizvodnih, lanaca opskrbe i organizacija za zaštitu okoliša, zdravlja i sigurnosti. Na svakom pregledu prolaza odlučuje se hoće li se unaprijediti projekt dizajna u sljedeću fazu, zadržati projekt dizajna u trenutnoj fazi dok se ne riješe kritična pitanja u tijeku ili će se otkazati projekt kada više nije potreban, ili kada dođe do zapreka koje dovode do nemogućnosti projekta. Kako bi napredovao iz faze u fazu, projekt razvoja proizvoda mora proći provjere za prolaz, odnosno dobiti prolazne ocjene. Svaki prolaz ima za cilj smanjiti rizik provjerom proizvodnosti i usklađivanjem veličine mogućnosti i svojstava proizvoda, i performansi s potrebama kupaca. Kako bi se olakšalo ocjenjivanje, osmišljeno je nekoliko zadataka koji bi se trebali postići u svakoj fazi. Pregledi faza služe za provjeru i potvrdu da su ključna pitanja na zadovoljavajući način odgovorena prije nego što je dizajnerski tim dopusti prelazak na sljedeću fazu. Od uvođenja faza došlo je do brojnih varijacija i prilagodbi izvornog procesa *Stage-Gate*TM. Međutim, tipično se SGPDP sastoji od pet faza. Na slici 4. faze su predstavljene pravokutnim blokovima, a prolazi su predstavljeni dijamentima. Kratke naljepnice ispod pravokutnika pokazuju glavne korake koje treba izvršiti u toj fazi. Iznad dijamanata su sažeci stavki koje treba pregledati ili procijeniti tijekom svakog pregleda prolaza. Specifične stavke ovise o vrsti kemijskog proizvoda. Glavni nedostatak SGPDP-a nastaje kada novi razvojni timovi preneglašavaju zadatke i isporuke, gubeći iz vida ključna pitanja u osiguravanju uspjeha njihovih projekata.⁸



Slika 4. Shema Stage- GateTM

3.2.1. Faza koncepcije

Faza koncepcije, koja je prva u procesu razvoja proizvodnih faza, prvenstveno je korak u kojem se definira poslovanje i proizvod. Tijekom ove faze provodi se opsežna istraga kako bi se definirao proizvod i provjerila njegova atraktivnost prije velikog ulaganja. Prilikom razvoja potpuno nove grupe proizvoda, ova faza uključuje opsežno istraživanje tržišta kako bi se definirale, ne samo tržišne prilike, već i tržišni segmenti i potrebe kupaca. Potonje predstavlja osnovu za razvoj novih koncepata proizvoda. Za proširenje ponude proizvoda na postojeća tržišta, iako su tržišni segment i potrebe kupaca općenito poznati, još uvijek je potrebna temeljita provjera održivosti tržišta i strategije proizvoda, budući da se odnose na potrebe kupaca. To se često odnosi na nove osnovne kemijske proizvode kada su razlike u kemijskoj strukturi, svojstvima i sirovinama male. Općenito, ciljevi faze koncepta su dvojaki - definirati proizvod i napraviti prijedlog poslovanja (*business case*).

Procjena tržišta

Prema Murrayu novi program razvoja proizvoda često započinje idejom za novi proizvod ili tehnologiju za koju novi tim za razvoj proizvoda nastoji identificirati i analizirati *stvaranje vrijednosti* i *hvatanje vrijednosti*. Cilj stvaranja vrijednosti je utvrditi bi li ideja imala značajnu vrijednost za kupce, dok je cilj hvatanja vrijednosti utvrditi može li se njezina inherentna ekonomska vrijednost uhvatiti unatoč konkurenciji.

Konkretnije, pri analizi stvaranja vrijednosti nove ideje, potrebno je dati odgovore na mnoga pitanja, kao što su:

- Tko su kupci?
- Tko će htjeti kupiti proizvod?
- Kome se treba obratiti za prodaju?
- Koja tržišta treba uzeti u obzir?
- Koje primjene proizvoda su najprikladnije za tehnološku ideju?
- Koje primjene proizvode najviše cijene kupci?

Prijedlog vrijednosti

Kad se provodi procjena tržišta za neki proizvod, korisno je za taj proizvod napraviti tzv. prijedlog vrijednosti. Prijedlog vrijednosti je jasna i sažeta izjava o neodoljivim atributima proizvoda kako ga vide kupci. Ti atributi obično su obilježja, funkcije i prednosti proizvoda.

Segmentacija tržišta

Često se proizvodi mogu prodati na različitim tržištima ili za različite primjene. Npr. Apple iPhone™ se može plasirati na tržište kao pametni telefon, kao prijenosni *media player*, ili kao osobni digitalni asistent (eng. *personal digital assistant - PDA*). Iako je iPhone™ dizajniran da obuhvaća sve ove tri funkcije, tim zadužen za razvoj proizvoda mora razmotriti kako najbolje uhvatiti njegovu vrijednost. Kako bi se pronašlo rješenje, trebalo bi prvo dati odgovore na nekoliko pitanja:

- Koji kupci su voljni i u mogućnosti platiti najviše?
- Koji kupci imaju najviše koristi od svojstava i funkcija proizvoda?
- Koje primjene imaju značajan napredak, odnosno koje se najbrže razvijaju?
- Koje primjene proizvoda su najučinkovitije?

Uspješnost segmentacije tržišta ovisi o ponašanju kupaca u odabranom segmentu, odnosno o tome mogu li kupci prihvatiti novi proizvod, kad su njihove potrebe u potpunosti ili djelomično ispunjene postojećim proizvodom.

Tržište se definira kao skupina ljudi (potencijalnih kupaca) koji, kao pojedinci ili u kolektivnim organizacijama, imaju potrebe za proizvodima i koji imaju mogućnost i želju za kupnju takvih proizvoda. Dok tzv. krajnji kupci (potrošači) imaju koristi od proizvoda, ali na njima ne zarađuju, mnoge kompanije kupuju proizvode za preprodaju, za izravnu uporabu u proizvodnji drugih proizvoda ili za potrošnju u svakodnevnom radu. Primjerice, uredski materijal svakodnevno troše njihovi proizvođači.

Tržišta su tradicionalno kategorizirana prema geografiji i demografiji. U demografskoj segmentaciji, skupine potrošača segmentirane su prema dobi, spolu, etničkoj pripadnosti, dohotku, obrazovanju, zanimanju, obiteljskom životnom ciklusu, veličini obitelji, religiji, društvenoj klasi. Geografska segmentacija klasificira skupine potrošača supkulturnim vrijednostima, veličinom populacije, porastom populacije, gustoćom naseljenosti, prirodnim resursima, prirodnim terenom itd.

Ukratko, rezultirajući tržišni segment sastoji se od pojedinaca, skupina ili organizacija koje dijele jednu ili više značajki koje dovode do sličnih potreba proizvoda. Prilikom razvoja novih proizvoda, identificiranjem različitih tržišnih segmenata, tim za razvoj proizvoda može se usredotočiti na segment jedinstvenog tržišta ili osmisliti proizvod koji će zadovoljiti potrebe višestrukog tržišta.

Analiza lanca vrijednosti

Usvajanje ili realizacija potencijalne ekonomske vrijednosti novog proizvoda, suočena s konkurencijom, ključna je za uspjeh tima za razvoj novih proizvoda. Tijekom faze koncepcije, timu su potrebni odgovori na sljedeća pitanja:

- Trebamo li prodavati proizvode i/ili usluge?
- Kako očuvati prednosti u odnosu na konkurenciju izražene u prijedlogu vrijednosti?
- Koliko daleko duž lanca vrijednosti trebamo ići kako bismo uhvatili maksimalnu vrijednost?

Lanac vrijednosti u poslovanju sastoji se od aktivnosti ili funkcija u stvaranju i isporuci proizvoda krajnjim korisnicima. One se klasificiraju kao primarne, izravno potrebne u proizvodnji i isporuci proizvoda, te sekundarne, odnosno podržavajuće aktivnosti koje nisu izravno uključene.

Tablica 1. Lanac vrijednosti mobilnih uređaja

Lanac vrijednosti bežične mreže						
Kategorije	Infrastruktura / Platforma	Proizvođač i telefona	Programeri aplikacija	Pružatelji sadržaja	Operatori	Prodavači
Primjeri (za sjevernu Ameriku)	-Intel -Oualcomm -Ericsson -Openwave -Symbian -Sun	-Nokia -Samsung -LGE -NEC -Sharp	-Lightsurf -Webraska	-CNN -Disney -ESPN -Sony	-ATTWS -Cingular -Nextel -Sprint -T-Mobile -Verzion	-Best Buy -Circuit City -Radio Shack

Kad je Apple surađivao s tvrtkom AT&T kao pružateljem usluga, odabrao je da neće pružati bežične usluge, prema tome Apple nije dizajnirao i proizveo vlastite telekomunikacijske procesore. Apple proizvodi iPhone™, te ga prodaje izravno kupcima. Nadalje, razvili su korisničko sučelje sa zaslonom na dodir, *media player*, internetske komunikacije i iTunes™. Apple ne nudi sadržaje poput vijesti, glazbe i filmova. Ukratko, Apple je odlučio sudjelovati kao proizvođač mobilnih uređaja, programer aplikacija i prodavač, odlučivši povećati svoj profit sudjelujući u tri cjeline lanca vrijednosti za bežične uređaje.

Zahtjevi kupaca

Početak 1980-ih Japan se pojavio kao svjetska sila u razvoju novih proizvoda, osvojivši značajne svjetske tržišne udjele u raznovrsnim industrijama kao što su automobilska industrija, potrošačka elektronika i teška industrija. Japanske tvrtke i proizvođači stavili su naglasak na kvalitetu, nadilazeći metode za smanjenje proizvodnih mana koje je predavao W. Edwards Deming, proširujući njihovu potragu za kvalitetom na početnu fazu dizajna proizvoda odnosno fazu koncepcije. Na vrhu liste prioriteta bile su studije potreba kupaca u svakom novom pothvatu za razvoj proizvoda. Da bi se to postiglo, Japanci su razvili metodologiju za funkcionalnu primjenu kvalitete (eng. *quality functional deployment* - QFD), koja započinje opsežnim popisima potreba klijenata. S vremenom, popisi potreba i proces postali su poznati kao glas kupca (eng. *voice of the customer* - VOC).

Proces dobivanja VOC-a često uključuje primarna i sekundarna istraživanja. U sekundarnom istraživanju se ne kontaktira i ne razgovara s kupcima, već se opći zahtjevi tržišta prikupljaju kroz tržišne studije i analize. Da bi se to razlikovalo od primarnog istraživanja, kaže

se da sekundarno istraživanje pruža glas tržišta (eng. *voice of the market* - VOM), što je generička procjena potreba kupaca. Za novaka u razvoju proizvoda, prikupljanje VOC-a može podrazumijevati posjete i intervjuiranje nekoliko ključnih kupaca. Glavni koraci u procesu dobivanja VOC-a uključuju: odabir kupaca, pripremu upitnika, vođenje razgovora s klijentima, obradu i analizu potreba kupaca i prevođenje potreba kupaca u zahtjeve proizvoda. Odabir kupaca je kritičan korak. U ovom odabiru, jednako su važni i kontakti s postojećim kupcima, kao i s onima koji nisu klijenti. Također je važno odabrati kupce koji su povezani s različitim subjektima u lancu vrijednosti proizvoda. Za vrijeme i nakon intervjua važno je definirati VOC, koji se sastoji od sveobuhvatnog skupa želja i potreba kupaca, s tim da se potrebe smatraju važnijima.

Prevođenje glasova korisnika u zahtjeve kupaca.

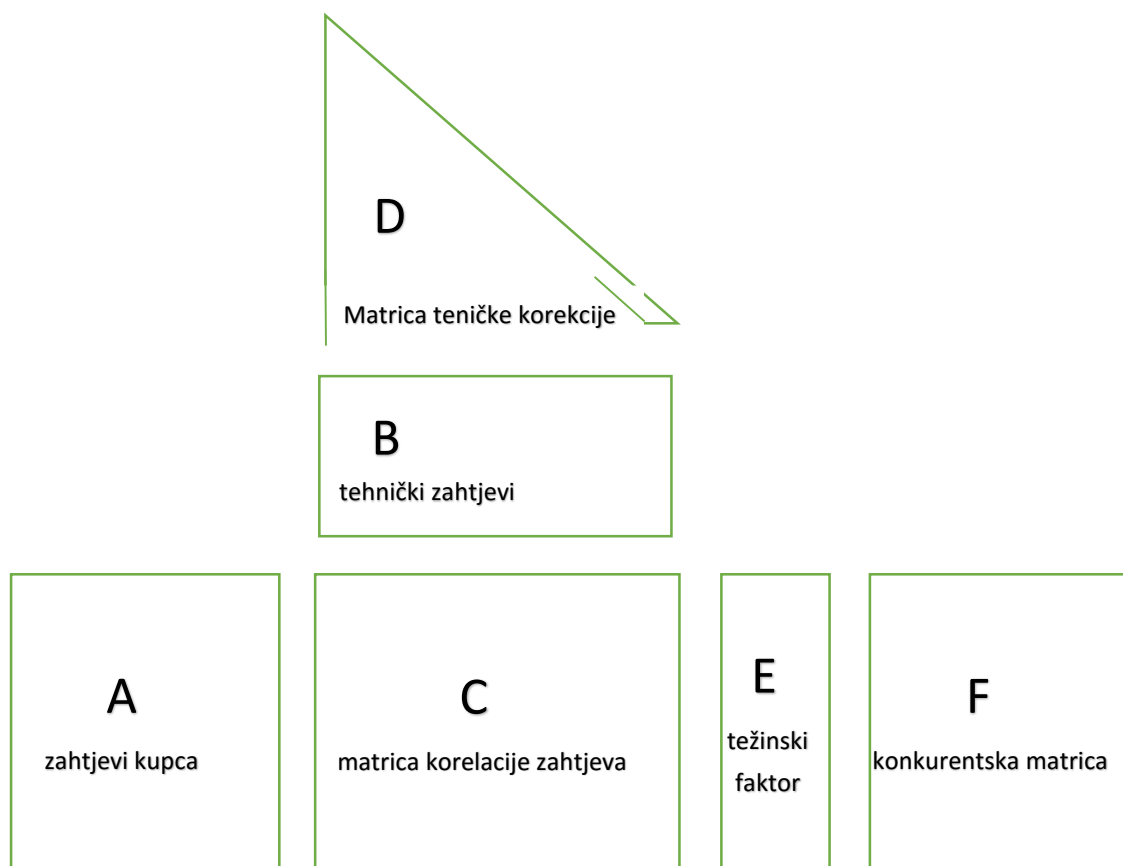
Budući da se VOC značajno razlikuju od definicije novih proizvoda kako ga vide ljudi koji rade u njegovom razvoju, nužno je prevođenje u zahtjeve kupaca. Potrebu za ovim prijevodom ilustriraju kupci u automobilskoj industriji koji žele "prostrano prednje sjedalo", dok proizvođači proizvoda moraju dodijeliti dimenzije koje osiguravaju prostor za noge, ramena i glavu. Treba imati na umu da zahtjevi kupaca ne bi smjeli sadržavati rješenja, kao što su "kupci preferiraju tkaninu", ili probleme kao što su "kotači su vrlo kruti", jer bi to moglo utjecati na generiranje potencijalnih rješenja kasnije u fazi koncepta. Nadalje, zahtjevi kupaca trebaju biti dovoljno specifični, na odgovarajućoj razini apstrakcije. Vrlo apstraktni zahtjevi sugeriraju širok raspon rješenja, dok zahtjevi koji su definirani previše specifično mogu neopravdano ograničiti raspon mogućih rješenja. Kada se pripremi skup zahtjeva kupaca, može se poslati upitnik ispitanicima kako bi se potvrdila relativna važnost svakog zahtjeva. Tipično, za rangiranje njihove važnosti, od kupaca se traži da distribuiraju 100 bodova među navedenim zahtjevima.

Zahtjevi za proizvod

S obzirom na skup zahtjeva kupaca, tim za razvoj proizvoda nastoji ih izraziti kao zahtjeve za proizvod koristeći viši tehnički jezik koji uključuje kvantitativne i mjerljive zahtjeve. Kuća kvalitete (eng. *the house of quality* - HOQ), također poznata kao primjena funkcije kvalitete (eng. *quality function deployment* - QFD), međusobno povezuje različite zahtjeve (kupac, proizvod, proizvodnja). Kada se prvi put formulira, u fazi koncepcije, HOQ povezuje zahtjeve kupaca s ukupnim proizvodnim zahtjevima.

Općenito, HOQ se sastoji od šest blokova, kao što je prikazano na slici 5. Blok A povezan je s zahtjevima kupaca, a blok B je povezan s kvantitativnim i mjerljivim tehničkim zahtjevima koji odgovaraju barem jednom od zahtjeva kupaca. Zatim se odnosi između kupca i tehničkih zahtjeva opisuju matricom korelacija u bloku C. Ovdje unosi predstavljaju kvalitativni odnos (DA/NE) ili, kvantitativno, predstavljaju njegovu snagu (0=bez, 1 = slabo, 3 = umjerena i 9 = jaka). Okrećući se krovu HOQ-a, bloku D, zastupljene su sinergije i sukobi između tehničkih zahtjeva. Treba imati na umu da se sinergijski zahtjevi mijenjaju u istom smjeru, dok ispunjavaju zahtjeve u manjoj ili u većoj mjeri. S druge strane, suprotstavljeni zahtjevi mijenjaju se u suprotnim smjerovima, što ukazuje na potrebu za kompromisima. Na kraju, blok E daje težinske faktore zahtjeva kupaca, a blok F predstavlja sposobnosti konkurenata u ispunjavanju zahtjeva kupaca.

Često su zahtjevi kupaca kategorizirani kao prilagođenost standardu (eng. *fitness-to-standard* - FTS) ili „novo jednostavno i teško“ (eng. *new-unique-and-difficult* - NUD). Prvi su osnovni zahtjevi koji moraju biti zadovoljeni kako bi kupci uopće mogli kupiti proizvode, odnosno zahtjevi koji se odnose na razine zadovoljstva koje su dobro poznate tržištu, dok za nove proizvode, temeljene na disruptivnim tehnologijama, kupci mogu svjesno i dobrovoljno prihvatiti lošiji učinak. Na primjer, za prve digitalne fotoaparate, početnici su bili spremni prihvatiti lošiju kvalitetu slike u zamjenu za mogućnost prenošenja slika putem interneta. Slično tome, klijenti su rijetko spremni platiti više za značajke FTS-a, dok zahtjevi NUD-a često privlače kupce, kao i visoke cijene, a često su dostupni i u ograničenim količinama. Budući da zahtjevi NUD-a pružaju kompetitivne prednosti za tvrtke, njihovo ispunjenje ima prioritet u fazi koncepta. Ispunjenje zahtjeva NUD-a označava da kako se povećava tehnička potreba da se tako bolje ispunjava odgovarajući tehnički zahtjev. HOQ su stvoreni kako bi se usredotočili na različite aspekte procesa razvoja proizvoda *Stage-Gate*TM. Stoga se HOQ često stvaraju ili proširuju u različitim fazama SGPD-a. Odabir zahtjeva FTS i NUD slijedi identifikacija tehničkih zahtjeva za ispunjavanje zahtjeva NUD-a.



Slika 5. Elementi kuće kvalitete HOQ

Koncepcije proizvoda

Nakon što se odluči o tehničkim zahtjevima za proizvod, tim za razvoj proizvoda počinje razvijati nove koncepcije proizvoda, odnosno potencijalna rješenja koja zadovoljavaju zahtjeve NUD-a i FTS-a. Za složene proizvode s mnogo komponenti, paralelni razvojni naponi često dovode do skupa koncepcija za kombinirani proizvod. Jasno je da je ovaj pristup rizičan, jer se nepredviđene interakcije mogu previdjeti u fazi koncepcije. Iz tog razloga često je potrebno odgoditi prosuđivanje dok se ne stvori prototip u fazi izvodljivosti. U tom je pogledu ključna fleksibilnost pri odlučivanju o prenošenju koncepta u fazu izvodljivosti. Idealni, višenamjenski tim za razvoj proizvoda stvara koncepte rješenja, s timom sastavljenim od multidisciplinarnog osoblja uključuje:

- Znanstvenici i inženjeri koji su razvili temeljne tehnologije koje će se vjerojatno koristiti u novom proizvodu.
- Razvojni inženjeri u srodnim područjima.
- Viši inženjeri u proizvodnji, kao što su oni koji su razvili prethodne generacije proizvoda.

- Osoblje tehničke i korisničke službe koje je radilo na prethodnim generacijama proizvoda ili koje imaju veliko iskustvo u rješavanju tehničkih problema i briga kupaca.
- Osoblje za marketing i prodaju.
- Stručnjaci lanca nabave.
- Stručnjaci za zdravlje, sigurnost, zaštitu okoliša i regulatorne mjere.

Ovaj interno usmjereni tim često se dopunjuje s partnerima za razvoj tehnologije iz industrije, akademske zajednice i / ili vlade. Također može uključivati odabrane kupce, a njihova razina uključenosti ovisi o potrebama projekata razvoja proizvoda. Obično služe kao konzultanti, a ne temeljni članovi tima za razvoj proizvoda.

Prema Pughovoj matrici s obzirom na referentno rješenje, koje je obično najpoznatije na tržištu, svaki se koncept ocjenjuje prema referentnom rješenju i dodjeljuje kvalitativna procjena inferiorne (-), superiorne (+) ili jednake (0). Prilikom generiranja novih konceptnih rješenja Pughove matrice koriste za probirne svrhe odnosno za odabir superiornih koncepata.

Procjene prilika

U fazi koncepcije, timovi za razvoj proizvoda obično se fokusiraju na procjenu prilika koje otvaraju njihovi proizvodi provodeći preliminarne procjene troškova proizvoda i analize rizika. Da bi se prešlo na fazu izvodljivosti, njihove približne procjene troškova moraju biti obećavajuće, a točnije procjene se sastavljaju dok tim ide od faze do faze kroz SGDP. Za projektiranje osnovnih kemijskih proizvoda, fokus je obično na profitabilnosti proizvodnih procesa konfiguriranih potrošačkih proizvoda. Procjene su u većoj mjeri povezane s prodajnim cijenama proizvoda i njihovom masovnom proizvodnjom. Kao što je ranije spomenuto, prije nego što dođe do značajnog ulaganja, ključno je procijeniti ekonomsku vrijednost i konkurenciju. Razmatraju se samo dva pristupa procjeni, Porterova analiza pet sila, i analiza intelektualnog vlasništva (IP).

a) Porterova analiza pet sila

Konkurentska analiza obično se fokusira na konkurentske snage unutar tržišta ili industrije. Godine 1979. Porter je tvrdio da pored sile tržišnog natjecanja treba uzeti u obzir i četiri druge sile:

- pregovaračku moć dobavljača,
- pregovaračku moć kupaca,

- prijetnju novih sudionika u tržišnom natjecanju,
- prijetnju zamjenskih proizvoda.

Konkurentne snage unutar tržišnog utjecaja i pod utjecajem su stope rasta tržišta, broja i raznolikosti konkurenata, proračun troškova oglašavanja i izlazne prepreke. Pregovaračka moć dobavljača uključuje diferencijaciju isporučenih materijala, relativni trošak ulaznih materijala u usporedbi s ukupnim troškom proizvoda i prodajnom cijenom, trošak uključivanja dobavljača, prisutnost zamjenskih ulaznih materijala, itd. Nasuprot tome, pregovaračka moć kupaca uključuje volumen kupnje, osjetljivost kupca na cijenu, prisutnost zamjenskih proizvoda itd. Prijetnja novih sudionika odnosi se na kapitalne troškove promjene proizvoda, tzv. ulazne barijere (prepreke ulaska na tržište novim tvrtkama), pristupa lancu opskrbe, itd. Konačno, prijetnja zamjenskih proizvoda uključuje troškove gubitka kupaca, sklonost kupaca ka promjeni, relativnu cijenu zamjenskih proizvoda i percipiranu diferencijaciju proizvoda, koja pokazuje vrijednost svojstava proizvoda koja nadilazi konkurentski proizvod.

Tim za razvoj proizvoda poznaje većinu tih sila. Međutim, za proizvode koji su novi u svijetu, pa čak i za proizvode koji su namijenjeni susjednom tržištu, njihova procjena je od kritične važnosti.

b) Analiza intelektualnog vlasništva

Analiza intelektualnog vlasništva, odnosno patenata, koristi se za procjenu tehničke konkurentnosti, za predviđanje tehnoloških trendova i za planiranje potencijalne konkurencije zbog poremećaja te istiskivanja s tržišta uzrokovanog novim tehnologijama. Primjerice, uvođenje novog proizvoda na tržište može učiniti zastarjelim napor u razvoju novih proizvoda. Zbog tih razloga, rana svijest o novim tehnologijama koje mogu zamijeniti koncepciju proizvoda ključna je u ostvarivanju povrata ulaganja za novi proizvod. Patent za izum definira se kao dodjeljivanje imovinskog prava izumitelju koji isključuje druge od prakticiranja izuma. Koristi se za zaštitu proizvoda, što izumitelju daje ekskluzivnost za proizvodnju proizvoda ograničeno vrijeme. Izumi koji se mogu patentirati uključuju: operativne metode ili procese, fizičke strukture kao što su sastav tvari i značajke proizvoda ili artikli. U posljednje vrijeme prošireni su na: algoritme i poslovne procese. Koristeći inovacijsku mapu tim za razvoj proizvoda može identificirati ključne izume u materijalu, procesnoj/proizvodnoj tehnologiji i tehnologiji proizvoda koji omogućuju diferencijaciju proizvoda na tržištu. Ti su izumi često zaštićeni patentima ili obrambenim objavama ili se čuvaju kao poslovna tajna. Primarna snaga patentne analize je vodeći pokazatelj tehnoloških promjena, pružajući učinkovit način

prepoznavanja tehnološkog diskontinuiteta. Analiza patenta obično započinje pretraživanjem patenata, nakon čega slijedi analiza lociranih patenata.

Donedavno su patentne pretrage provodili stručnjaci koji su koristili specijalizirane alate i baze podataka. Danas se patentna pretraga može lako postići korištenjem Googleovog naprednog pretraživanja patenata na Internetu. Googleova napredna pretraga patenta pronalazi patente pomoću ključnih riječi koje su dobili od korisnika, brojeva patenta, naslova patenta, imena inovatora, imena ovlaštenika, klasifikacija patenata, datuma izdavanja i datuma podnošenja.

3.2.2. Faza izvodljivosti

Druga faza SGPDP je faza izvodljivosti. Glavni ciljevi ove faze su potvrditi superiorne koncepcije generirane tijekom faze koncepcije u odnosu na zahtjeve kupaca i izgraditi prijedlog poslovanja za projekt. Osim toga, razmatraju se i druga pitanja, uključujući ažuriranje tržišne procjene, analizu konkurentnosti (uključujući IP strategiju) i ispitivanje brige za zdravlje i okoliš. Ključni rezultati su:

- procjena u kojoj mjereni superiorni koncepti ispunjavaju zahtjeve kupaca
- prijedlog poslovanja koji obuhvaća potencijalne ekonomske vrijednosti proizvoda u uvjetima konkurencije i dijagram toka procesa u osnovnom slučaju
- posebno za dizajn osnovnih kemijskih proizvoda.

Ova faza uključuje generiranje prototipova proizvoda, njihovu procjenu od strane kupaca, povratne informacije od kupaca i redizajn vrhunskih koncepata. U tom slučaju se prerađuje prijedlog poslovanja, kao i konkurentna analiza. Tim priprema kompletan poslovni prijedlog, zajedno sa svojom preporukom. Ovdje menadžerski tim odlučuje hoće li dalje ulagati ili će napustiti projekt. Potvrđivanje izvedivosti superiornog koncepta počinje izgradnjom prototipa proizvoda. Prototipovi se dijele s odabranom potencijalnih kupaca u zamjenu za njihove povratne informacije. Ovisno o povratnim informacijama, tim može izmijeniti koncept poboljšanjem, dodavanjem ili uklanjanjem značajki proizvoda. U ovoj fazi se provode preliminarni proizvodni postupci kako bi se provjerila proizvodnost proizvoda. Razvoj poslovnog slučaja uključuje pripremu poslovnog prijedloga koji pokriva prijedlog vrijednosti proizvoda, ciljano tržište, veličinu mogućnosti i procjenu poslovnog rizika.

3.2.3. Faza razvoja

Nakon prolaza razvoja (*feasibility gate*), tim je ovlašten prijeći na treću fazu SGDP-a, razvojnu fazu. Glavni cilj ove faze je u potpunosti razviti proizvod, osigurati njegovu proizvodnju i isporučiti obećanu vrijednost svojim kupcima. Po potrebi se provodi detaljan dizajn, dimenzioniranje opreme, analiza profitabilnosti i optimizacija. Osim toga, razmatraju se i druga pitanja, uključujući ažuriranje procjene tržišta, analizu konkurentnosti (uključujući i strategiju IP-a), te ispitivanje brige za zdravlje i okoliš. Ključni rezultati su specifikacije proizvoda, procjena izvedivosti proizvodnje i detaljan procesni postupak, posebno za osnovne kemijske proizvode. U ovoj se fazi razvijaju konstrukcije, značajke i kompletne specifikacije. Također, kupci su češće kontaktiraju u pokušaju da svoje zahtjeve FTS-a i NUD-a bolje usklade s konačnim specifikacijama proizvoda. Tim priprema cjelovitu procjenu proizvodnje s naglaskom na procjenu izvedivosti novog proizvoda. Od posebnog interesa je kapitalna investicija potrebna za proizvodnju proizvoda. Procjena proizvodnje često uključuje nekoliko proizvodnih ciklusa na postojećim proizvodnim lokacijama kako bi se procijenila njihova prikladnost za proizvodnju proizvoda. U tom smislu, tim obično priprema analizu rizika korištenja postojeće opreme. Kada je potrebno, priprema se procjena kapitalnih investicija za novi ili modificirani proizvodni objekt. Potencijalna mjesta proizvodnje također su identificirana i procjenjuje se njihova učinkovitost. Kada projekt uključuje značajnu investiciju za novu ili modificiranu proizvodnju, završena je prerada prijedloga poslovanja.

3.2.4. Faza proizvodnje

Nakon prolaza (eng. *gate*) revizije razvoja proizvoda, tim je ovlašten prijeći na četvrtu fazu SGDP-a, fazu proizvodnje. Glavni cilj ove faze je razviti proces proizvodnje proizvoda koji zadovoljava specifikacije proizvoda postavljene u fazi razvoja. Kao što je gore navedeno, druga pitanja o kojima se raspravljalo, uključujući ažuriranje procjene tržišta, analizu konkurentnosti (uključujući i strategiju IP-a), te ispitivanje brige za zdravlje i okoliš. Ključni rezultati su proizvodni proces i njegova trajna sposobnost za dosljednu proizvodnju proizvoda. Ova faza uključuje razvoj proizvodnog procesa koji dosljedno proizvodi proizvod prema specifikacijama, uključujući protokol kontrole kvalitete. Obično se ljudi koji rade na razvoju proizvoda preraspodjeljuju na druge projekte, pri čemu su njihove uloge prilagođene savjetodavnoj osnovi. Prilikom procjene mogućnosti obrade, proizvodni procesi na stvarnim proizvodnim mjestima normalno rade dulje vrijeme. Na primjer, kontinuirani procesi obično traju tri dana s prihvatljivim prinosima proizvoda. Plan osiguranja kvalitete također treba biti uspostavljen i testiran. Proizvod se zatim uzorkuje i šalje odabranim kupcima na odobrenje.

Izrađuje se sveobuhvatna analiza troškova, a poslovni plan se ažurira kako bi se obračunali novi jedinični troškovi, po potrebi.

3.2.5. Faza uvođenja proizvoda na tržište

Nakon prolaza revizije proizvodnje, tim je ovlašten nastaviti s posljednjom fazom SGPDP-a, fazom uvođenja proizvoda na tržište. Glavni cilj ove faze je pripremiti plan lansiranja proizvoda koji uključuje literaturu o proizvodu koja sadrži specifikacije konačnog proizvoda, strategiju određivanja cijena, strategiju brendiranja, reklame i najave novih proizvoda. Plan lansiranja proizvoda razvijaju članovi tima za prodaju i marketing, kao i tehničke službe. Razvijena je literatura o proizvodima, kao i materijali za obuku koje će koristiti osoblje za prodaju i tehničke usluge. Također je razvijena strategija određivanja cijena, kao i kanal za ispuštanje proizvoda. Još jedna ključna aktivnost je *brendiranje*. Strategija određivanja cijena ključna je odrednica u pokretanju novog proizvoda, jer je to glavni čimbenik u pozicioniranju proizvoda na tržištu. Iako nema jednostavnog recepta za postavljanje cijena uključeno je nekoliko koraka:

- Razvijanje marketinške strategije provodeći analizu tržišta koja uključuje segmentaciju tržišta, ciljanje i pozicioniranje.
- Procjena krivulje potražnje, odnosno odnos između obujma prodaje i cijene proizvoda. Jasno je da niže cijene obično vode do većih količina prodaje. Za postojeće proizvode, procjene obujma prodaje po cijenama ispod ili iznad trenutne cijene ukazuju na elastičnost cijena. S neuobičajenom potražnjom moguća su povećanja cijena.
- Izračun jediničnog troška, uključujući fiksne i varijabilne troškove, u proizvodnji novog proizvoda. Jedinični trošak određuje donju granicu cijene proizvoda i određuje profitnu maržu po višim cijenama.
- Razumijevanje uvjeta okoliša za procjenu konkurentskih odgovora i zakonskih ograničenja. Preniske cijene mogu dovesti do nepoželjnog odgovora kao što je cjenovni rat, dok previsoke cijene mogu potaknuti nove konkurente da uđu na tržište. Pravno, tvrtke nisu u mogućnosti slobodno određivati cijene proizvode na bilo kojoj razini. Također, cijene bi trebale biti jedinstvene kako bi se spriječile tvrdnje o diskriminaciji cijena.
- Postavljanje ciljeva određivanjem cijene, na primjer, maksimiziranje profita, maksimiziranje prihoda, maksimiziranje obujma prodaje, maksimiziranje profitne marže ili stabilizacija cijena. Svaki cilj određivanja cijena ima različite gospodarske utjecaje.

Jasno je da se svi gore navedeni čimbenici moraju uzeti u obzir pri određivanju cijena. Cilj određivanja cijena za nove proizvode obično je povećati ili profitnu maržu ili količinu prodaje (tržišni udio). Prema Deanu, kako bi se postigli ovi ciljevi, često se primjenjuju takozvane *skimming* strategije ili strategije penetracijskih cijena. *Skimming* ima za cilj prodati novi proizvod kupcima koji su manje osjetljivi na cijenu i koji se nalaze na vrhu piramide tržišta. Ova je strategija prikladna kada se ne očekuju velike uštede troškova ili ih je teško postići na velikim količinama. Također je prikladno kada resursi poduzeća nisu dovoljni za velika kapitalna ulaganja koja su potrebna za proizvodnju velikih količina. Kod strategije penetracijskih cijena, novi se proizvod prodaje po niskoj cijeni kako bi se nakon početka proizvodnje brzo dobio tržišni udio. Ova je strategija prikladna kada se očekuje veliko smanjenje troškova pri velikim količinama, kada se očekuje se da će proizvod brzo dobiti masovno prihvaćanje ili da je na vidiku velika prijetnja predstojeće konkurencije. Za određivanje cijena koje postižu različite ciljeve uobičajeno se koristi nekoliko strategija. To su:

- Trošak plus cijena, gdje se cijena određuje kao jedinični trošak uvećan za željenu maržu.
- Ciljani povrat investicije, gdje je cijena određuje željena brzina povrata ulaganja (ROROI).
- Cijena temeljene na vrijednosti, gdje cijenu određuje vrijednost za kupca u odnosu na alternativne proizvode.
- Psihološko određivanje cijena, pri čemu se cijena određuje na temelju kvalitete proizvoda po prihvatljivoj cijeni, koju potrošač smatra poštenom cijenom.

Osim popisa cijena za krajnjeg korisnika, treba odrediti i diskontiranu cijenu za distributere (trgovce na veliko), trgovce i krajnje korisnike. Kako životni ciklus proizvoda napreduje, krivulja potražnje se obično mijenja, to jest mijenjaju se odnosi između potražnje i troškova. Slijedom toga, politike cijena se obično ponovno procjenjuju tijekom vremena.⁶

4. PROJEKTIRANJE PROIZVODA ZA KEMIJSKU INDUSTRIJU

SGPDP slijedi dizajn kemijsko-industrijskih proizvoda prikazan na slici 6. Industrijske kemikalije su karakteriziranje termo-fizikalnim i prijenosnim svojstvima, a druga svojstva, često dominantna u zadovoljavanju potreba kupca, su mikrostruktura, raspodjela veličine čestica te funkcionalna (čišćenje, adhezija, oblik), senzorna (osjećaj, miris), reološka (ne-newtonski tok) i mehanička (stabilnost) svojstva. Većina industrijskih kemikalija ne prodaje se potrošačima nego su to sastavni dijelovi i sirovine za druge industrijske kemikalije i konfigurirane potrošačke proizvode. Prilikom projektiranja kemijsko-industrijskih proizvoda uvode se koraci kao na slici 6., a zatim se prikazuju u inovacijskoj mapi i studijama slučaja.

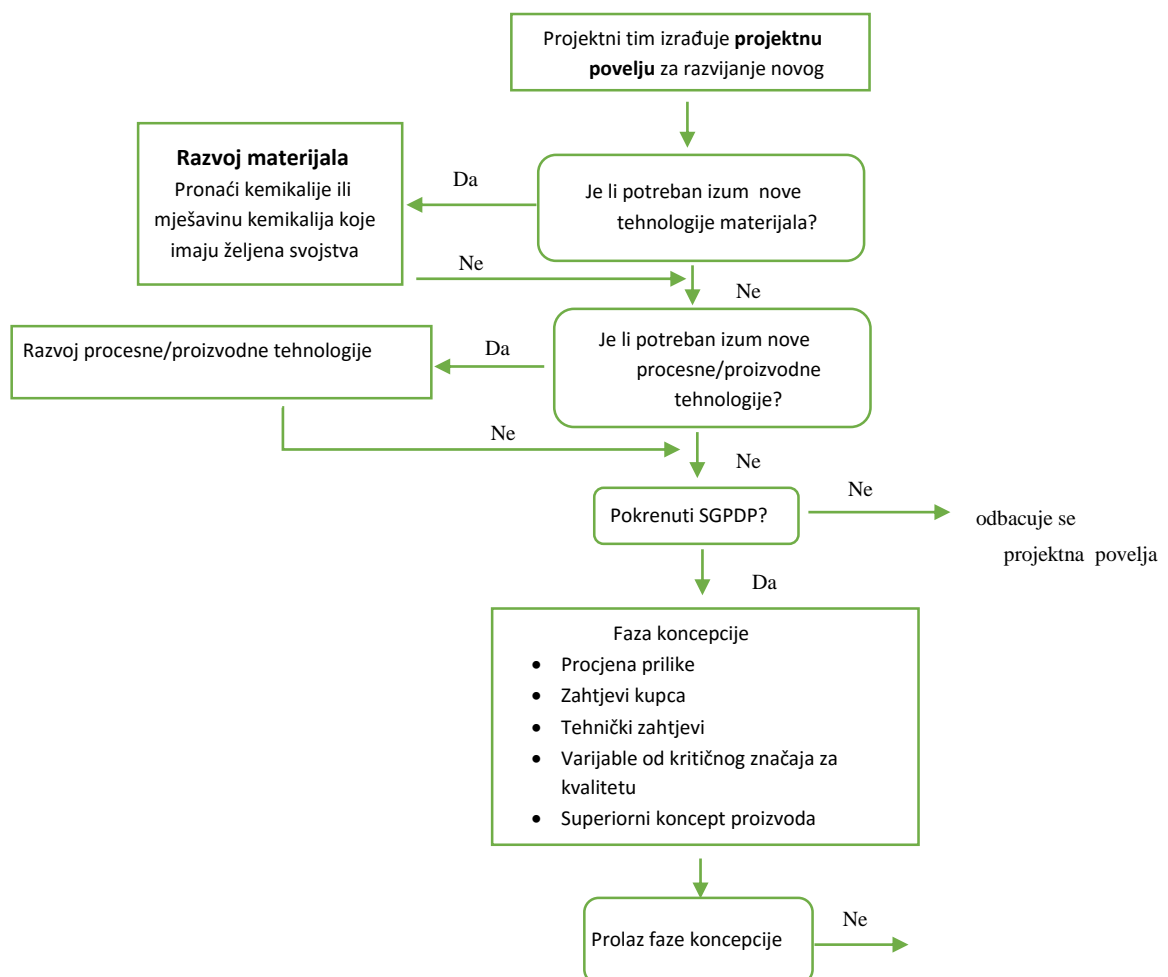
Razvoj materijala i procesne/proizvodne tehnologije je korak koji kod industrijskih kemikalija obično uključuje traženje odgovarajućih molekula, izgrađenih polimera i kompozitnih materijala kako bi se zadovoljila usko vezana uz potrebe kupca. Za mnoge industrijske kemikalije potrebno je izmisliti ili koristiti nove procesne-proizvodne tehnologije kako bi se željena svojstva postigla.⁹

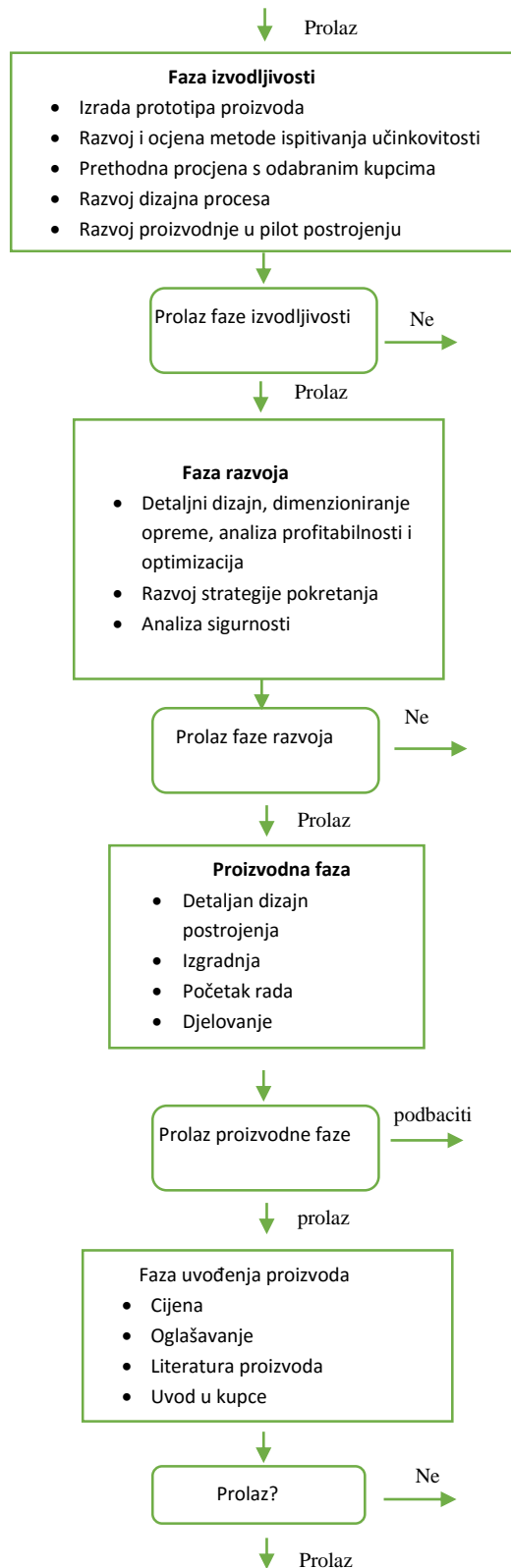
U **fazi koncepcije** je nešto teže postići potrebne zahtjeve za industrijske kemikalije u usporedbi s osnovnim kemikalijama jer je potrebe kupca teže prevesti u tehničke zahtjeve, te je generiranje superiornih proizvodnih koncepata obično složenije.

Tijekom **faze izvodljivosti** obično se izrađuju uzorci proizvoda (prototipovi) kako bi pokazali izvodljivost superiornih koncepcija proizvoda, te se razvijaju metode ispitivanja njihovih učinaka. Ukoliko su rezultati zadovoljavajući, razvija se proces za izradu proizvoda. Slika 6. ilustrira procesne operacije koje se uobičajeno koriste u proizvodnji polimernih proizvoda. Paste i kreme imaju koloidne strukture koje zahtijevaju operacije za stvaranje mikropaljica u kontinuiranim fazama, mikromiksirajućim uređajima i homogenizatorima. Nadalje, postupci za proizvodnju tih proizvoda često se ne sintetiziraju sve dok se u laboratoriju ne stvore faze izvedivosti nakon što se izrade prototipovi. To se značajno razlikuje od dizajna većine osnovnih kemijskih proizvoda, u kojima se preliminarna sinteza procesa obično provodi u fazi koncepcije, prvenstveno zato što se termo-fizikalna svojstva osnovnih kemijskih proizvoda često postižu primjenom rutinskih postupaka obrade (reaktori s kontinuiranim miješanjem, posude za raspršivanje i kolone za destilaciju). U fazi razvoja potrebno je napomenuti da detaljan procesni postupak za neke industrijske kemikalije uključuje specijalizirane procesne jedinice kao što su ekstruderi, mikromikseri, emulzijski pištolji,

procesu lijepljenja stakla, za koje su često potrebne specijalizirane tehnike za dimenzioniranje opreme i procjenu kapitalnih troškova.

Najvažnija razmatranja tijekom procesa projektiranja bi trebala biti analiza sigurnosti kako bi mogli potvrditi da se tipične greške (kvarovi ventila i crpki, curenje,..) ne mogu širiti kroz postrojenje. To bi spriječilo stvaranje nesreće kao što su eksplozija, toksični oblaci pare ili požari. Često se provode HAZOP (*eng. a hazard and operability study*) analize kako bi se sustavno provjerile sve predviđene mogućnosti. HAZOP analiza je strukturirano i sustavno ispitivanje složenog planiranog ili postojećeg procesa ili operacije u svrhu prepoznavanja i procjene problema koji mogu predstavljati rizik za osoblje ili opremu. Tijekom faze proizvodnje za procese koji proizvode industrijske kemikalije, inženjeri sastavljaju crteže opreme, dijagrame cjevovoda, dijagrame instrumentacije, raspored opreme, konstrukciju umanjenog modela postrojenja i pripremu ponuda. Zatim počinje faza izgradnje u kojoj inženjeri i projektni menadžeri igraju vodeću ulogu. Međutim konačne projektne i građevinske aktivnosti obično nisu u odgovornost kemijskih inženjera.¹⁰





Slika 6. Koraci u dizajnu proizvoda kemijske industrije

4.1. Nove tehnologije za kemijsko industrijske proizvode

Kada se razvijaju industrijski kemijski proizvodi, kemijski inženjeri u industriji često se usredotočuju na svojstva koja nadilaze uobičajena termo-fizikalna i transportna svojstva čistih tvari i njihovih smjesa. Neki od uobičajenih primjera industrijskih kemikalija i svojstava koja su važna njihovim korisnicima su:

- Tkana i netkana vlakna. Prirodna vlakna se često proizvode od povrća, drvnih izvora, životinja (kose, tetiva, ..) i minerala (azbesta), dok su umjetna vlakna proizvedena od prirodnih sirovina ili sintetičkih kemikalija (kao što su polimerna vlakna, npr. poliamidni najlon, PET poliester, ..). Njih karakterizira vlačna čvrstoća, upijanje vode, itd. Vlakna su industrijske kemikalije koje se proizvode za ugradnju u brojne potrošačke proizvode, na primjer netkani materijali se često koriste za pelene, mikrofiltre, vrećice za čaj, izolacije, ...
- Plastične folije za omotavanje hrane. Koriste se za zatvaranje hrane pohranjene u staklenim ili keramičkim posudama kako bi se održala svježina. Povijesno gledano, plastične folije za hranu su ekstrudirani polivinilklorid (PVC), ali je nedavno došlo do pomaka na polietilen niske gustoće (LDPE) zbog zabrinutosti oko prijenosa plastifikatora PVC u hranu. Folije su relativno tanke (8-15 um) i prijanjaju na različite posude od stakla, keramike, nehrđajućeg čelika itd. Ostala važna svojstva uključuju otpornost na prijenos kisika i okusa, kao i visoku vlačnu čvrstoću i otpornost na probijanje.
- Polikarbonatni materijali za optičke primjene. Optički polikarbonat pruža uravnotežene osobine prozirnosti, udarne čvrstoće, otpornosti na toplinu i dimenzije stabilnosti, zajedno s električnim svojstvima. Široko se koristi za vrlo zahtjevne primjene kao što su proizvodnja kompaktnih diskova (CD), magneto-optičkih (MO) diskova i DVD optičkih diskova.

Industrijski kemijski proizvodi često uključuju složene pojave kao što su višestruke interakcije, amorfne i kristalne strukture s dislokacijama i defektima, površinskom hrapavošću i odnosima naprezanja i deformacija. Nove tehnologije materijala često su temelj novih industrijskih kemijskih proizvoda, na primjer otkriće kemijskih smjesa koje se fazno razdvajaju kako bi nastale stabilne mikroemulzije. I u mnogim slučajevima, nove procesne / proizvodne tehnologije su temelj razvoja novih proizvoda, na primjer poboljšani ekstruder koji proizvodi žljebasta vlakna. Ovo se poglavlje usredotočuje na početne korake u dizajniranju industrijskih kemijskih proizvoda, nakon što je dizajnerski tim izradio svoju projektnu povelju. Koraci prikazani na slici 7. uključuju odabir materijala i tehnoloških/ proizvodnih tehnologija. To su nove tehnologije namijenjene stvaranju proizvoda koji zadovoljavaju potrebe kupaca, a

istovremeno nude konkurentsku prednost. Kada su inovacijske mape obećavajuće, dizajnerski tim započinje dizajn proizvoda nakon *Stage-Gate*TM procesa razvoja proizvoda (SGPDP). U odjeljcima koji slijede, inovacijske mape su stvorene za potencijalan dizajn proizvoda koji uključuje tanke staklene podloge za LCD.

4.1.1. Inovacijska mapa za tanke staklene ploče u LCD-ovima

Aktivno-matrični zaslone s tekućim kristalima (AM-LCD) su dominantna tehnologija prikaza za stolna računala, laptove i tablete te za ručne uređaje kao što su mobilni telefoni, osobni digitalni asistenti (PDA), kalkulatori i digitalni satovi. Također su sve važniji za velike televizore s ravnim zaslonom, koji trenutno dovode u pitanje tehnologiju plazma zaslona (PDP). U srcu AM-LCD-a nalazi se tanki sloj tekućih kristala raspoređenih u aktivnoj matrici, omeđen skenirajućom elektrodom na jednoj strani i filtrom za boju na drugoj. Ovaj „sendvič“ se nalazi unutar tankih staklenih ploča, stražnjih i prednjih ploča, koje su obložene polarizirajućim slojevima. Tekući kristali (LC), na primjer 4-metoksi benzildien-4'-butilanilin (MBBA) mogu se orijentirati primjenom odgovarajućeg električnog polja. Budući da su ti materijali optički aktivni, njihova prirodno uvijena struktura može se koristiti za mijenjanje polarizacije svjetlosti, npr. za 90°. AM-LCD omogućuje adresiranje svake LC ćelije, pri čemu svaka ćelija odgovara jednom crno-bijelom pikselu. Red piksela odabire se primjenom napona na odabranu liniju koja spaja tranzistor tankog filma (TFT) za taj red piksela. Kada se odabere pulsiranje, napon se prilagođava prema podatkovnom retku. TFT aktivna matrica može se smatrati nizom idealnih sklopki koje uključuju i isključuju red piksela. Obično se za TFT koristi ili amorfni-Si (a-Si) ili polikristalni-Si (p-Si).

4.1.2. Podloga tankog stakla

Postupci za proizvodnju LCD ploča često uključuju plazma poboljšano kemijsko taloženje para, prskanje, fotolitografija, mokra obrada i čišćenje, suho jetkanje i izrada i sastavljanje TFT ćelija. Sredinom 2000-ih Corning je bio vodeći proizvođač tankoslojnih podloga za LCD, a razvojni naponi započeli su 1980-ih. Zapravo, gotovo svi novi materijali i procesne/ proizvodne tehnologije u razvoju tankoslojnih podloga za LCD od tada se pripisuju Corningu. Korisničke specifikacije za LCD staklene podloge vrlo su stroge zbog preciznih poravnanja potrebnih za stražnje i prednje ploče u LCD sendviču. Minimalni pogreška pomaka, reda veličine mikrona, značajno bi smanjila kvalitetu slike i kut gledanja. Za male zaslone, osobito prijenosna računala, težina je ključni pokretač na tržištu, pa su stoga prikladnije tanje i manje guste ploče. Ukratko, za ove proizvođače ploča, poželjne su sljedeće značajke i funkcionalnosti:

- Dimenzija stabilnosti. Najmanje pogreške u poravnavanju obrasca TFT ili neusklađenost između TFT obrasca i filtra boja, uništavaju vjernost slike.
- Kvaliteta površine. Male površinske nepravilnosti uzrokuju oštećenja obrasca tijekom procesa litografije koja utiskuje TFT obrazac na staklenu podlogu.
- Ravnost površine. Promjenljivi razmaci između stražnje i prednje ploče utječu na performanse tekućih kristala između dvije ploče.

Kako bi se postigle te značajke i funkcionalnosti, proizvodima za podlogu od tankog stakla nameću se sljedeći zahtjevi:

- Dimenzija stabilnosti zahtijeva da staklene podloge imaju minimalnu termičku deformaciju, nisko unutarnje naprezanje i toplinsko širenje u usporedbi s korištenim amorfnim silicijem za TFT uzorak. To je zbog toga što se prilikom taloženja amorfnog silicija na staklenu podlogu postižu temperature od 400°C.
- Visoka kvaliteta površine zahtijeva visoku kemijsku trajnost, odnosno otpornost na kiseline koje se koriste za jetkanje tijekom procesa fotolitografije pri izradi TFT uzoraka. Potrebne su glatke i čiste površine jer i najmanja valovitost i čestice prašine stvaraju defekte u TFT uzorcima.
- Ravnost površine zahtijeva ekstremnu uniformnost staklenih podloga sve veće površine, kako bi se osigurali veći televizori i vanjski zasloni. Suvremena, 8. generacija staklenih površina za LCD omogućuje zadovoljavajuću uniformnost do dimenzija približno 210 x 240 cm.

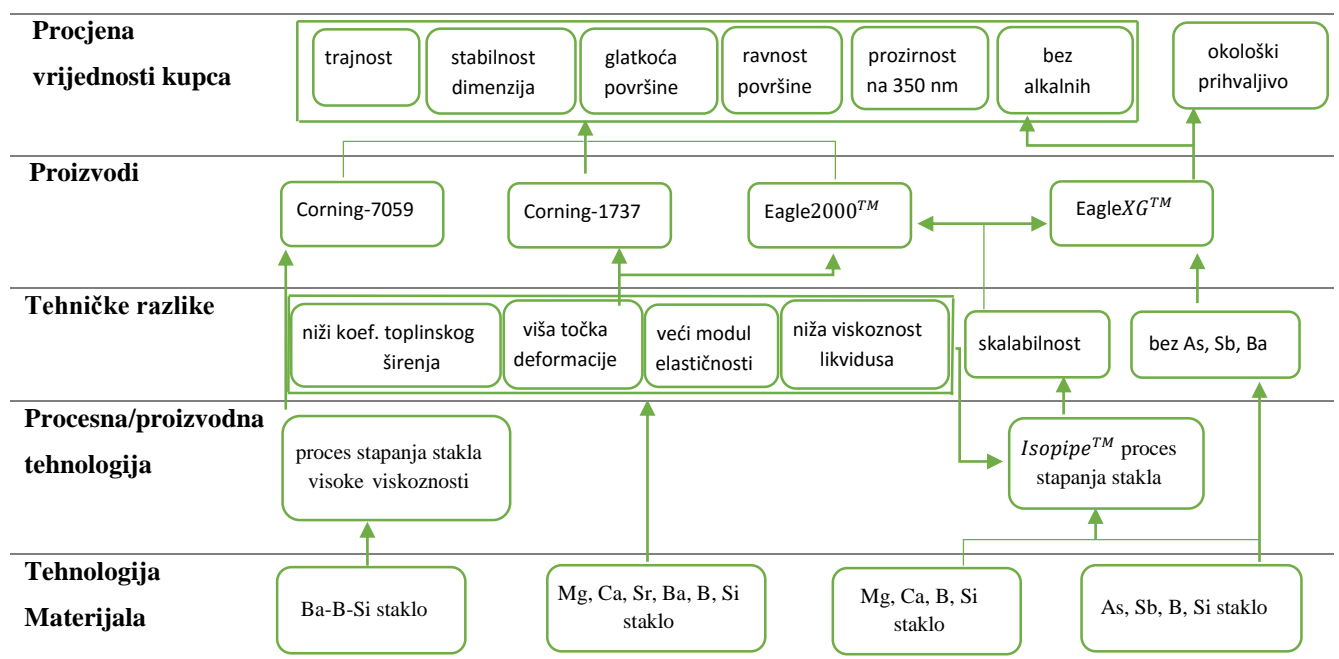
4.1.3. Inovacijska mapa za tanke staklene podloge u LCD-u

Budući da se LCD staklene podloge ne prodaju potrošačima, prijedlog vrijednosti odnosi se na proizvođače LCD panela. Također, budući da se proizvod od staklene podloge proizvodi izravno iz sirovina, bez komponenti proizvoda (npr. TFT), ne zahtijevaju se nove proizvodne tehnologije, te zbog toga razina tehnologije proizvoda nije uključena. Kako bi se konstruirala inovacijska mapa, prvo je potrebno identificirati elemente na pet razina, krećući se od dna prema vrhu mape kao što je prikazano na slici 7.

Nakon identificiranja elemenata na svih pet razina inovacijske mape, dodaje se njihova povezanost kako bi se pokazalo uzajamno djelovanje između tehnoloških elemenata, tehničko-vrijednosnog prijedloga i na kraju prijedlog o potrošačkoj vrijednosti. Ove poveznice identificiraju primarne izume potrebne da zadovolje potrebe kupaca, što može omogućiti konkurentsku prednost, kao što je cjenovna premija nad konkurentnim proizvodima i / ili

povećani tržišni udio. Ako su potrebe korisnika ostale nezadovoljene, njihovo rješavanje je često cilj sljedeće generacije proizvoda.

Postoje dva primarna izuma koji su Corningu dali konkurentsku prednost nad konkurentima, a to su (1) novi sastavi stakala i (2) proces spajanja stakla *Isopipe*TM. Potrebno je znati da je inovacijska mapa na slici 7. aktualna za kasne 2000-te, i stoga je primjenjiva za dizajn proizvoda u tom vremenskom okviru. Naravno, novi dizajn proizvoda zahtijeva predodžbe o budućim tehnologijama koje je potrebno razviti kako bi zadovoljile najnovije ili buduće potrebe kupaca.¹¹



Slika 7. Inovacijska mapa Corning LCD

4.1.4. Razvoj tehnologije materijala

Kao što smo već spomenuli, aktivna potraga za prikladnim supstratima za LCD počela je 1980-ih. I staklene i plastične podloge bile su vodeći kandidati, a odabrano je staklo. I stražnja i prednja ploča u LCD-u moraju zadovoljavati visoke zahtjeve dimenzije stabilnosti i kvalitete površine (glatkoću i ravnost), ali stražnja ploča mora omogućiti instalaciju i pravilno funkcioniranje TFT-a, odnosno mora:

- izdržati temperature obrade do 400 ° C do jednog sata bez ikakvih deformacija
- biti transparentna na valnoj duljini od 350 nm za fotolitografiju za izradu nizova TFT-a

- preživjeti kiselo okruženje tijekom nagrizanja u fotolitografiji bez pogoršanja
- proširiti se i kontrahirati s temperaturom kao amorfni silicij koji se koristi za konstrukciju TFT-a
- ne sadržavati elemente koji kontaminiraju silicij i smanjuju njegove električne karakteristike, osobito alkalijske katione u konvencionalnom staklu
- biti svjetlo

U usporedbi s plastikom, staklo se deformira pri višim temperaturama, praktički je inertno i prozirno u području blizu UV-zračenja. Staklo ima znatno niži koeficijent toplinskog širenja (CTE), ali se znatno razlikuje od amornog silicija. Također je nepropusno za plin, što mu omogućava da u LCD sendviču sadrži tekuće kristale. Iako je gustoća dvostruko veća od većine plastike, vrlo tanke ploče mogu se proizvesti uporabom Corning *Isopipe*TM procesa. Glavni nedostatak stakla je njegov sadržaj alkalnih metala, koji se uobičajeno uvode kako bi se pojednostavio proizvodni proces. Alkalni metali smanjuju temperaturu taljenja, smanjujući tako zahtjeve za toplinom i tzv. temperaturu kristalizacije, te dopuštajući veću plastičnost, što smanjuje troškove proizvodnje konvencionalnog stakla. Međutim, alkalni metali su otrovni. Kako su se Corningove tehnologije razvijale tijekom godina, razvila se velika biblioteka staklenih vrsta, različitih sastava, uključujući:

- Boro-silikatno staklo *Pyrex*TM, koje se koristi u laboratorijskim proizvodima i velikim teleskopskim ogledalima. Pyrex ima nizak koeficijent toplinskog širenja (CTE), blizak amornom siliciju i visoku trajnost. Međutim, sadrži natrij koji truje silicij i tali se na temperaturama koje su preniske za fotolitografiju.
- Corning-1723, staklo omotnice svjetiljki razvijeno za svjetlosne signale na željeznici. Ima visoku trajnost i stabilnost pri visokim temperaturama, te ima nisku koncentraciju alkalija (<2000 ppm). Zbog toga ima visoku točku taljenja, što smanjuje njegovu plastičnost i povećava toplinsko širenje (u usporedbi sa silicijem) povećavajući troškove proizvodnje.
- Corning-7980, staklo od taljenog silicijevog (IV)oksida koje se koristi u UV optičkim materijalima i često se koristi kao omotač u halogenim žaruljama. Vrlo je stabilan na ekstremno visokim temperaturama (> 1.000 ° C) i stoga je vrlo izdržljiv. Ima izuzetno nizak sadržaj alkalnih metala (<20 ppm). U usporedbi s Corningom-1723, vrlo ga je skupo proizvoditi, vrlo je teško kontrolirati (za postizanje visokih kvaliteta površine) te ima koeficijente toplinskog širenja (CTE) niži od poželjnog.

Budući da nijedno od ovih stakala nije zadovoljilo sva svojstva potrebna za LCD podloge, Corning je nastavio s razvijanjem. Počevši od *Pyrex*TM stakla, zemno alakijsko aluminosilikatno staklo (RO-Al₂O₃-SiO₂, s R, zemno alkalijskim elementom kao što su Mg, Ca, Sr ili Ba), istraživači su dodali bor oksid, B₂O₃ i barijev oksid, BaO. Prilagodili su sastav kako bi zadovoljili većinu zahtjeva za podloge u LCD-u, ali je koeficijent toplinskog širenja (CTE) bio viši od željenog te je bila potrebna nešto bolja termička stabilnost.

4.1.5. Procesna/proizvodna tehnologija: Corning proces stapanja stakla

Kako bi zadovoljili zahtjeve visoke kvalitete površine i ujednačenosti debljine, znanstvenici i inženjeri tvrtke Corning razvili su proces stapanja stakla *Isopipe*TM. U ovom jednostavnom, elegantnom dizajnu, rastaljeno staklo se dovodi u korito sa šiljastom bazom i prelijeva se u dvije odvojene zavjese koje se spajaju na vrhu izbočene baze, tvoreći jednu staklenu zavjesu. Kako pada s gravitacijom, staklo se stvrdnjava i reže na veličinu. Ovaj postupak ima sljedeće zahtjeve, funkcionalnosti i prednosti:

- Sastav stakla odabran je tako da dopušta protok bez stvaranja mjehurića i stvaranje drugih defekata.
- Kako se formiraju tanke staklene podloge, one su u kontaktu s čistim zrakom. Zbog toga se postiže visoka glatkoća površine bez nizvodnog poliranja, što inače daje teksture površine.
- *Isopipe*TM proces staklenog stapanja osigurava izvrsnu kontrolu debljine i sposoban je isporučiti LCD staklene podloge sa slojem debljine na velikim površinama potrebnim za LCD
- *Isopipe*TM proces staklenog stapanja postupak je skalabilan za debljinu i širinu. Corning je proizveo podloge debljine 0,6 mm i širine 2 m za uporabu u proizvodnji Gen-8.

Izvorni dizajn Corning *Isopipe*TM procesa stapanja stakla temelji se na aparatu koji je izumio Dockerty 1960-ih i patentirao Corning. Namijenjen je za proizvodnju lisnog stakla koji ima jednaku debljinu po svojoj širini i ima glatke površine bez ogrebotina. Dockerty je svoj dizajn temeljio na uređaju za izradu staklenih ploča.^{12,13,14,15}

5. STUDIJA SLUČAJA LCD STAKLA

Ova studija slučaja predstavljena je s obzirom na korake u *Stage-Gate*TM procesu razvoja proizvoda (SGPDP). Proces razvoja proizvoda odigrao se sredinom 1980-ih, kada se dizajnerski tim tvrtke Corning usredotočio na razvoj LCD staklene podloge poznate kao Corning-7059. Corning-7059 je prikladan za ovu studiju slučaja jer je uključivao stvaranje prve generacije proizvoda (novi proizvod) dok su ostali proizvodi nastali nadograđivanjem koje je manje rizično. Ova studija temelji se na pretpostavljenom scenariju, jer nisu poznate točne informacije o razvoju proizvoda i tehnologije proizvodnje. Također, Corningov LCD tim za razvoj stakla možda nije koristio SGPDP proces razvoja proizvoda.

5.1. Projektna povelja

Najvjerojatniji razvoj događaja je da su poslovni i tehnološki stručnjaci pretpostavili da će staklo za LCD-ove biti vrlo unosan posao. Tim za razvoj proizvoda je dobio zadatak razvoja staklene podloge pogodne za LCD ploče. Također, od tima je zatraženo da iskoristi postojeće proizvodne kapacitete, jer je moguće da se opsežni kapitalni fondovi nisu akumulirali u prethodnim godinama, u kojima je dobit od stakla bila stabilna, ali nije bila potaknuta prodornim proizvodima. Konačno, od tima je zatraženo da stvori prototip za testiranje na tržištu u roku od godinu dana i da predstavi njegovu tehničku i proizvodnu izvedivost. Slijedeći korake dizajna proizvoda prikazanih na slici 6., nakon dovršene projektne povelje, projektni tim je vjerojatno trebao odrediti je li potreban izum nove tehnologije materijala i procesne/ proizvodne tehnologije. No u vrijeme kada je Corning-7059 bio u razvoju, potrebne tehnologije su postojale. Zbog toga je s entuzijazmom donesena odluka da se uđe u proces SGPDP. Moguć izgled dovršene projektne povelje prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2. Moguća projektna povelja za Corning-7059

Naziv projekta	LCD staklo
Projektни pravac	Poslovni direktor tvrtke Specialty Glass Substrate Business
Voditelj projekta	John Doe
Specifični ciljevi	Staklena podloga pogodna za izradu LCD ploča, ispunjavajući trajnost, toplinsku stabilnost i zahtjeve kvalitete površine
Opseg projekta	U opsegu: određivanje prihvatljivih tehničkih zahtjeva za LCD staklene podloge, minimalne promjene trenutnih proizvodnih mogućnosti Izvan opsega: glavne proizvodne promjene
Isporučeno	Dobra poslovna procjena, procjena tehničke izvedivosti, procjena proizvodnih mogućnosti
Vremenska crta	Prototip proizvoda za tržišno testiranje unutar 12 mjeseci

5.2. Faza koncepcije

SGPDP započinje s fazom koncepcije koja uključuje pet glavnih procjena, odnosno aktivnosti koje su se vjerojatno odigrale pri razvoju Corning-7059.

Procjene prilika

Za proizvode nove generacije - prve generacije, kao što su LCD staklene podloge 1980-ih, procjena prilike je veoma problematična. Prilikom uvođenja ovih proizvoda, najuspješnije tvrtke se oslanjaju na trendove „mega-tržišta“, koja imaju sposobnosti pružiti diferencirana i održiva rješenja. Nadalje, etablirane tvrtke često imaju sredstva za održavanje poslovanja čak i kada je vrijeme inkubacije za postizanje zadovoljavajuće uspješnosti na tržištu dulje od očekivanog. Nakon što je 1987. godine Corning ušao na tržište s prvom staklenom podlogu bez alkalnih metala, prodaja je bila skromna. No početkom 2000-ih stvari se mijenjaju. Kako prodaja LCDova na prijenosnicima, monitorima i televizorima te raste eksponencijalno, prati je i porast prihoda Corninga u segmentu proizvodnje staklenih podloga za LCD.

Zahtjevi kupca

Kako se pojavljuju LCD tehnologije, Corningovi tehnički i poslovni lideri vjerojatno su prepoznali veliki potencijal tankoslojnih podloga. Njihovi potencijalni korisnici, proizvođači prijenosnih računala su iskazali nezadovoljstvo zbog težine zaslona. Time su prepoznate

potrebe za tanjim i lakšim zaslonom. Također, razvojni tim je prepoznao da alternativna tehnologija, podloga na bazi plastike, ne može odgovarati zahtijevanoj toplinskoj stabilnosti za TFT obradu. Tom činjenicom poboljšava se Corningov uspjeh. Izazov za razvojni tim tvrtke Corning je bio taj što njihovi kupci (proizvođači prijenosnih računala), koji nisu bili stručnjaci u tehnologijama fotolitografije, nisu mogli propisati kvantitativne zahtjeve za ploče, osim težine i debljine.

Kako bi lakše prepoznali potrebe kupca, tim koristi metodologiju opisanu u poglavlju 3.2. Vjerojatno je da je razvojni tim odabrao nekoliko laboratorija za izradu ploča i prikupio zahtjeve kupca navedene u poglavlju 4.1.4. Razvojni timovi obično prikupljaju stotine zahtjeva i slika od potencijalnih kupaca te često naizgled nepovezani zahtjevi moraju biti obrađeni u skupine potreba koje imaju "afinitet" jedna prema drugoj. Standardna metoda za to je tzv. KJ postupak (imenovan prema inicijalima Japanskog antropologa Jira Kawakite), odnosno metoda dijagrama afiniteta. Za podlogu od tankog stakla, koristeći KJ analizu, ti su zahtjevi bili grupirani u početku na temelju njihovih sličnosti, a zatim na temelju njihovih funkcija. Došlo je do formiranja kategorija prethodno objašnjenih u odjeljku 4.1.2. Unutar svake od ovih kategorija, neki zahtjevi su identificirani kao FTS, a ostatak kao NUD, pri čemu je svakom zahtjevu dodijeljen težinski faktor kao mjera njegove relativne važnosti. U ovom slučaju su najvažniji NUD dimenzije stabilnosti, kvaliteta površine i ravnost površine. Zahtjev za malom masom, iako klasificiran kao NUD, vjerojatno je imao najmanji težinski faktor.

Tablica 3. Zahtjevi kupaca

Kategorije zahtjeva kupaca	Zahtjev za staklenom podlogom	Vrsta	Težinski faktor (%)
Dimenzije stabilnosti	-toplinsko naprezanje -unutarnje naprezanje -toplinsko širenje	NUD	25
kvaliteta površine	-kemijska otpornost -glatkoća površine -čistoća površine	NUD	25
Ravnost površine	-varijacija debljine površine	NUD	25
optička svojstva	-transparentnost -nema uključivanja	FTS	15
lakoća	-gustoća -debljina	NUD	10

Tehnički zahtjevi

Prije razvoja koncepta proizvoda, zahtjevi za staklene podloge vjerojatno su prevedeni u mjerljive tehničke zahtjeve koji su pogodniji za rad na tehničkom razvoju. Za staklenu podlogu Corning-7059, zahtjevi prevedeni u mjerljive tehničke zahtjeve poput koeficijenta toplinskog širenja (CTE) i kvalitete površine, mogli bi odgovarati onima iz tablice 4. Općenito, ovaj prijevod povremeno rezultira višestrukim tehničkim zahtjevima, na primjer zahtjev za transparentnošću uključuje dva tehnička zahtjeva.

Tablica 4. Tehnički zahtjevi

Zahtjevi za staklenom podlogom	Tehnički zahtjevi	Cilj
toplinsko širenje	hrapavost	<5 ppm/°C
kemijska otpornost	CTE	<2,000 ppm
površinska gustoća	alkalni kontakt	<2,5· 10 ⁻⁸ m
čistoća površine	površinski broj čestica	<1 čestica/m ²
ravnost	debljina	<0,5%
transparentnost	prozirnost	Transparentno pri 350 nm
	uključivanja	Nema mjehurića ni čestica
gustoća	gravitacija	<2,8

Određivanje varijabli kritičnih za kvalitetu (CTQ)

Obično se zahtjevi NUD-a uzimaju kao varijable kritične za kvalitetu. Stoga je vjerojatno da su tijekom razvoja Corning-7059 varijabli staklene podloge odabrani koeficijent toplinskog širenja (CTE), sadržaj alkalnih spojeva, površinska hrapavost, broj čestica na površini, varijacija debljine i gustoća. U fazi koncepcije SGDP-a, izrađuje se prva „kuća kvalitete“ (eng. *house of quality* HOQ), također poznata i kao razvoj funkcije kvalitete (eng. *quality function deployment* - QFD). Ona prikazuje rezultate procesa za dobivanje, prevođenje i primjenu potreba korisnika u tehničke zahtjeve. U tablici 5., donja pravokutna matrica povezuje sve zahtjeve kupaca u prvom stupcu s najmanje jednim kvantitativnim tehničkim zahtjevom ili parametrom u susjednim stupcima. U drugim slučajevima, zahtjev kupca prevodi se izravno u tehnički zahtjev, na primjer mala težina pretvara se u tanko staklo i nisku gustoću.

Na vrhu kuće, matrica interakcija pokazuje sintegrističke tehničke zahtjeve ili parametre, na primjer gustoća i debljina podloge. Potrebno je znati da + označava da se varijable povećavaju ili smanjuju zajedno, a - označava da kada se jedna varijabla povećava, druga se smanjuje, i obrnuto, na primjer stupanj uključenosti varira obrnuto s optičkom prozirnošću. Prazan unos ukazuje da ne postoji značajna veza između varijabli. Budući da precizan proizvodni proces utječe na svojstva staklenih ploča, a formulacije stakla utječu na mogućnost obrade rastaljenog stakla, korisno je izgraditi kuću kvalitete proizvodnje. To je kuća koja

prikazuje odnose između tehničkih zahtjeva (ili svojstava) stakla i parametara materijala koji utječu na reološka i toplinska svojstva rastaljenog stakla. Ti parametri uključuju likvidusnu viskoznost, temperaturu deformacije (točka deformacije) i gustoću rastaljenog stakla.

Tablica 5. Prva kuća kvalitete

								1	Gravitacija
							1	+	uključivanje
						1	-		prozirnost
					1			-	debljina
				1					Površinski broj čestica
			1	+	+				hrapavost
		1	-		-				alkalni kontakt
	1	+							CTE
zahtjev kupca	CTE	alkalni kontakt	hrapavost	površinski broj čestica	debljina	prozirnost	uključivanje	gravitacija	težina
dimenzije stabilnosti									0,25
toplinsko širenje	X								
kvaliteta površine									0,25
kemijska otpornost		X							
površinska gustoća			X						
čistoća površine				X					
ravnost površine					X				0,25
optička svojstva									0,15
transparentnost						X			
uključivanje							X		
lakoća									0,1
gustoća								X	

Tablica 6. Kuća kvalitete proizvodnje

			1	gustoća rastaljenog stakla	
			1	+	viskoznost tekućine
	1	+			točka napreznaja
Tehnički zahtjevi	točka napreznaja	viskoznost tekućine	gustoća rastaljenog stakla		težina
CTE					0,15
Alkalni kontakt	X	X			0,10
Hrapavost		X			0,15
Površinski broj čestica					0,10
Debljina		X			0,25
Prozirnost					0,10
Uključivanje		X			0,05
Gravitacija			X		0,10

Razvoj superiornih koncepata proizvoda

Odabir koncepata rješenja je u središtu razvoja novih proizvoda, posebice kada je na raspolaganju nekoliko alternativa. Ti koncepti se često primjenjuju na specifične elemente skupine proizvoda. Razvijajući staklene podloge za LCD zaslone, novi koncepti počinju uključivati barij boro-silikatno staklo i poboljšani postupak izrade listova tankog stakla. Odabir koncepata u ovoj fazi može biti rizičan jer se u mnogim slučajevima mora temeljitije prosuđivati dok se ne stvori prototip i testira u fazi izvedivosti. Takozvana Pughova matrica (Pugh, 1996), u kojoj se svaki koncept rješenja (djelomičan i potpun) ocjenjuje prema referentnom rješenju, je koristan za probiranje namjene, kako je prikazano u tablici 7. za staklenu podlogu Corning-7059. Referentna rješenje je obično najpoznatije na tržištu (ili najbolje moguće rješenje), osamdesetih godina je to bio Pyrex boro-silikatno staklo. Svaki potencijalni koncept procjenjuje se prema referentnom rješenju i dodjeljuje mu se kvalitativna vrijednost inferior (-), superior (+) ili jednaka (0). Za Corning-7059 staklenu podlogu vjerojatno je da je dizajnerski tim tvrtke Corning prvobitno odabrao tri kandidata, boro-silikatno staklo Pyrex™, Corning-1723 i

Corning-7980. Kao što je prikazano u tablici 7., nijedna od tih formulacija nije zadovoljila zahtjeve za proizvodom i preradom.

Odabir superiornih koncepata

U fazi koncepta SGPDP-a, odabir superiornih koncepata temelji se ponajprije na zadovoljavanju tehničkih zahtjeva, osobito novih, jedinstvenih i teških zahtjeva (NUD). Za Corningovu staklenu podlogu, to bi bio koncept C (Corning-7059), prikazan u tablici 7. Iako Corning-7059 formulacija ima nešto veći koeficijent toplinskog širenja (CTE) i nešto nižu trajnost od željene, vjerojatno je odabran kao superiorni koncept u fazi koncepta, prepoznajući da će biti opsežno testiran u fazi izvedivosti. ¹⁷

Tablica 7. Pughov izbor koncepta

Tehnički zahtjevi	Cilj	Referentno rješenje	Koncept A: Corning-1723	Koncept B: Corning-7980	Koncept C: Corning-7059	
CTE	<5 ppm/°C	<i>Pyrex™</i>	-	-	0	
Alkalni kontakt	<2,000 ppm		+		+	
Hrapavost	<2,5 · 10 ⁻⁸ m			-	+	
Površinski broj čestica	<1 čestica/m ²				+	
Debljina	<0,5%			-	+	
Prozirnost	Transparentno pri 350 nm			+	+	
Uključivanje	Nijedno				+	
Gravitacija	<2,8				+	
Naprezanje	600°C			-	+	0
Viskoznost	>3 · 10 ⁵ poise			-		+
Gustoća rastaljenog stakla	2,75 g/cc			/	/	0

Pregled prolaza

Da bi se dovršila faza koncepta, moguće je izvršiti pregled prolaza u kojima bi tim za dizajn proizvoda odgovarao na pitanja povezana s nekoliko isporučenih proizvoda. Takav pregled koji Corning može ili ne mora obaviti 1980-ih godina ovdje se ne razmatra. Može se pretpostaviti

da donositelji poslovnih odluka ocjenjuju da je prezentacija tima za dizajn zadovoljavajuća, te su financirali projekt kako bi prešao na fazu izvedivosti.

5.3. Faza izvedivosti

Prateći metodologiju SGPDP, kad se dobije odobrenje i sredstva za nastavak, projektni tim se usredotočuje na isporučive rezultate koji će biti dovršeni tijekom faze izvedivosti. U ovoj fazi, naglasak se stavlja na tehnološku izvedivost superiornog koncepta (ili koncepata).

Dodatno, potrebno je riješiti nekoliko pitanja koja proizlaze iz procjene tržišta, analize konkurentnosti i ispitivanja brige za okoliš, zdravstvenu sigurnost i životnog ciklusa proizvoda. Sljedeću raspravu treba smatrati vjerojatnim scenarijem događaja koji su se dogodili 1980-ih.

Tehnička izvedivost

Cilj procjene tehničke izvedivosti bio bi osigurati da superioran koncept, Koncept C, zadovoljava zahtjeve kupaca. Provedena su mjerenja kojima su dobiveni rezultati koji govore o svojstvima staklene podloge.

Transparentnost se procjenjuje na različitim valnim duljinama za staklo od 0,5 mm. Dobiveni rezultati govore da prijenos svjetlosti premašuje 90% na 350 nm, što odgovara potrebama.

Nadalje, vjerojatno je da je koeficijent toplinskog širenja (CTE) mjeren od 0 do 300 °C za nekoliko prototipova. Dobiveno je da neki prototipovi nisu zadovoljili test dimenzija stabilnosti (CTE <5 ppm /°C), a varijacija je velika.

Za nekoliko dodatnih prototipa vjerojatno su prikupljena mjerenja radi procjene kvalitete površine, kemijska otpornost, glatkoća površine i čistoća površine. Izvršena su mjerenja vrijednosti kemijske otpornosti kao gubitka težine u 5% -tnoj otopini klorovodične kiseline na 95 °C tijekom 24 sata. Slijedi da gubitak težine za sve prototipove pada ispod 10 mg/dan/cm², što je tipična gornja granica. S obzirom na usporedive podatke, vjerojatno je da je dizajnerski tim tvrtke pripremio nekoliko uzoraka stakla za testiranje korisnika. Tim je izmjerio koeficijent toplinskog širenja (CTE), površinsku kemijsku otpornost i čistoću površine te glatkoću za tri uzorka.

Tablica 8. Tehnička izvedivost

Koeficijent toplinskog širenja za Corning-7059				
Prototip		CTE (ppm/°C) od 0 do 300°C		
A		4,5		
B		4,5		
C		4,7		
D		4,2		
E		4,1		
F		5,2		
G		5,0		
Površinska otpornost, čistoća i glatkoća				
Prototip	Gubitak mase (mg/dan/m ²)	Broj čestica (čestica/ m ²)	Površinska ugrađenost (10 ⁻⁸ m)	
D1	7,7	0	1,02	
D2	8,0	0	1,07	
D3	8,3	0	0,99	
D4	8,5	0	1,02	
D5	7,0	1	0,96	
Rezultati testova za tri prototipa pripremljena za povratnu informaciju od strane kupaca				
Prototip	CTE (ppm/°C)	Gubitak mase (mg/dan/m ²)	Broj čestica (čestica/ m ²)	Površinska ugrađenost (10 ⁻⁸ m)
P-1	4,5	8,0	0	1,02
P-2	4,3	8,1	0	1,04
P-3	4,7	7,9	0	1,02

Potvrda kupaca

Prije provedbe terenskog ispitivanja s potencijalnim kupcima, sklapaju se sporazumi o povjerljivosti nakon kojih se distribuiraju prototipovi proizvoda. Tipični rezultati testova kupaca (za trajnost dimenzija stabilnosti i čistoću i glatkoću površine) koji su vjerojatno dobiveni od strane dizajnerskog tima tvrtke Corning prikazani su u tablici 9. S tim da je kupac

C-1 bio laboratorij za izradu ploča, kupac C-2 bio je glavni proizvođač ploča, a kupac C-3 bio je integrator ploča (to jest, montažer integriranog LCD-a s prednje i stražnje ploče) koji je radio s kupcem C-2. U svim slučajevima kupci C-2 i C-3 dali su identične rezultate, osim broja čestica, sugerirajući da su kao partneri mogli prijaviti iste podatke. Kupac C-2 izrazio je nezadovoljstvo zbog koeficijenta toplinskog širenja (CTE), prototipovi su bili veći od željenog te su poslali upit o smanjenju.

Isto tako, budući da su svi brojevi čestica premašili timska mjerenja, čestice su možda stečene tijekom otpreme ili testiranja kupaca. Naposljetku, projektni tim je vjerojatno postavio pitanja o spremnosti tih korisnika da kupe staklenu podlogu, s obzirom na mjerne učinke. Kupac C-1 nije bio spreman kupiti proizvod, kupac C-2 je naveo da je cijena odlučujući čimbenik, a kupac C-3 bio je voljan razmotriti proizvod. Nadalje, dva od tri potencijalna kupca zatražila su niži koeficijent toplinskog širenja (CTE), a posljedično tome, za ovaj odgovor je vjerojatno da je projektni tim planirao tražiti željeno smanjenje i istražiti njegov utjecaj na cijenu proizvoda i proizvodnost.

Tablica 9. Povratne informacije kupaca

Povratna informacija kupaca o dimenziji stabilnosti mjerenoj pomoću CTE (ppm/°C)			
kupac	Prototip P-1	Prototip P-2	Prototip P-3
C-1	4,5	4,3	4,7
C-2	4,6	4,4	4,8
C-3	4,6	4,4	4,8
Povratna informacija kupaca o trajnosti površine (mg/dan/m ²)			
C-1	8,0	8,1	7,9
C-2	9,2	9,1	9,2
C-3	9,2	9,1	9,2
Povratna informacija kupaca o čistoći površine (čestica/m ²)			
C-1	1	1	1
C-2	2	3	4
C-3	5	5	7
Povratna informacija kupaca o glatkoći površine (10 ⁻⁸ m)			
C-1	1,02	1,04	1,07
C-2	1,02	1,07	1,04
C-3	1,02	1,07	1,04

Analiza tržišta

Kao što je spomenuto u raspravi o fazi koncepta, procjene veličina tržišta za LCD u 1980-ima bile su vrlo neizvjesne. Iako je prodaja sredinom 1980-ih bila gotovo nepostojeća, Corning je odlučno čekao novu priliku.

Analiza konkurentnosti

Dok je dizajnerski tim razvijao staklo Corning-7059, nisu postojale značajne konkurentske ponude. Sredinom 1980-ih, Corningovi izumitelji i proizvodni inženjeri tražili su poboljšanje procesa i podnošenje dodatnih patenata kako bi se zaštitile nove staklene podloge. Za staklene kompozicije znanstvenici iz Corninga prijavili su nekoliko patenata, uključujući U.S. 4,634,683, Barijske i / ili stroncijeve aluminosilikatne naočale s kristalima za uređaje s ravnim zaslonom, podnesene 1985. godine i U.S. 4,824,808, Podložno staklo za prikaze tekućih kristala, podneseno 1987. godine (*eng. U.S. 4,634,683, Barium and/or Strontium Aluminosilicate Crystal-containing Glasses for Flat Panel Display Devices, U.S. 4,824,808, Substrate Glass for Liquid Crystal Displays*)

5.4. Faza razvoja

Glavni zadatak u razvojnoj fazi SGDP-a je osmišljavanje proizvodnog procesa na razini pilot-postrojenja. Ova faza uključuje detaljan dizajn, dimenzioniranje opreme, analizu profitabilnosti i optimizaciju. Kuća kvalitete koristi se za identifikaciju kritičnih procesnih varijabli za svaki proizvodni proces. Osim toga, često se provodi analiza neuspjeha kako bi se odredio plan za vraćanje procesa na svoju nominalnu radnu točku nakon ozbiljnih poremećaja ili kvarova. Često su kratkotrajni radovi dovoljni za provjeru stabilnosti proizvodnog procesa. Kada je potrebno, ponovno su razmotrene procjene tržišta i recikliranje proizvoda. Za staklenu podlogu Corning-7059, vjerojatno je da je Corningov proces stapanja stakla dizajniran i testiran na pilot postrojenju za najperspektivnije staklene kompozicije. Uobičajeno je da je planirano nekoliko serija za provjeru proizvodnosti superiornih koncepata proizvoda.

5.5. Faza proizvodnje

U ovoj fazi, bio je projektiran proces proizvodnje tankoslojne podloge s naglaskom na proširenje procesa pilot-postrojenja. Također su bili procijenjeni i troškovi proizvodnje za podlogu od tankog stakla. Još jedna kuća kvalitete vjerojatno bi bila pripremljena za proizvodni proces, povezujući varijable procesa i parametre materijala s procesnim izlazima i performansama proizvoda. Naglasak bi bio na identifikaciji kritičnih parametra obrade i materijala koji utječu na kvalitetu proizvoda. Smatra se da je proizvodni proces stabilan kada proizvodi konzistentne proizvode unutar tolerancija kupaca. Kada je potrebno, ponovno se ocjenjuje procjena tržišta i upravljanje proizvodima. Konkretnije, za staklenu podlogu Coning-7059 vjerojatno je odabrano mjesto proizvodnje kako bi se provjerila stabilnost i kontroliranje procesa te njegovo dugoročno ponašanje. Poželjno je da je nekoliko proizvodnih ciklusa izvedeno s ključnim varijablama obrade, kako bi se procijenila stabilnost i mogućnost upravljanja procesom. Osim toga, vjerojatno je proučavano i provjeravano da su razlike u kvaliteti stakla od serije do serije sirovih staklenih materijala dovoljno niske. Obično se obujam potražnje procjenjuje na temelju projekcija prodaje, a prije lansiranja proizvoda kreira se inventar od 2 do 3 mjeseca.

5.6. Faza uvođenja proizvoda na tržište

U fazi uvođenja proizvoda, obično se razvija strategija lansiranja. Često uključujući cijene, kanal za lansiranje, reklame, literaturu o proizvodu i rane proizvode, upoznavanje s ograničenim tržištem ili odabranim kupcima prije masovne proizvodnje. Za staklenu podlogu Corning-7059, kao prvi u nizu proizvoda za proizvođače tankih zaslona, cijenu je vjerojatno bilo teško odrediti. Čini se, međutim, jasnim da je Corning koristio strategiju određivanja cijena temeljenu na vrijednosti u kojoj je cijena bila određena prema pretpostavljenom kupcu u odnosu na alternativne proizvode. Corning je morao izabrati ovu strategiju, koja se pokazala efikasnom, priznajući da je na tržištu malo konkurencije. Osim toga, pripremljena je literatura o proizvodima koja opisuju svojstva Corning-7059. Također, planirana je obuka tehničko-servisnog osoblja i prodajnog osoblja.^{16,19}

6. ZAKLJUČAK

Prilikom projektiranja proizvoda kemijske industrije prvotno dizajnerski tim izrađuje svoju projektnu povelju, a zatim se odabiru materijali i tehnološke/ proizvodne tehnologije. To su nove tehnologije namijenjene stvaranju proizvoda koji zadovoljavaju potrebe kupaca, a istovremeno nude konkurentsku prednost. Kada su postavljene inovacijske mape obećavajuće, započinje dizajn proizvoda nakon pokretanja *Stage-Gate*TM proces razvoja proizvoda ili SGPDP.

U ovom radu predstavljena je inovacijska mapa za potencijalni dizajn proizvoda koji uključuje tanke staklene podloge za LCD. Za izradu inovacijske mape ponajprije je bilo potrebno identificirati elemente na pet razina, te ih povezati kako bi se pokazalo uzajamno djelovanje između tehnoloških elemenata. Tih pet razina su činile procjena vrijednosti kupca, proizvodi, tehničke razlike, procesna/ proizvodna tehnologija te tehnologija materijala. Dva primarna izuma koja su Corninga istaknuli te mu dali konkurentsku prednost su novi sastavi stakla i proces stapanja stakla *Isopipe*TM. Osim sastava stakla veoma su bitna njegova svojstva, te materijal od kojeg je izrađen. Za ovu studiju slučaja je bio najprikladniji Corning-7059 jer je uključivao stvaranje prve generacije proizvoda koja je najrizičnija dok su svi ostali proizvodi nastali nadograđivanjem. Prilikom izrade projektna povelje definirani su ključni elementi-specifični ciljevi, opseg projekta te vremenska crta. Nakon utvrđivanja da nisu potrebni izumi nove tehnologije materijala i procesne/ proizvodne tehnologije donesena je odluka da se uđe u proces SGPDP. Prva faza SGPDP je faza koncepcije u kojoj su određeni procjena prilike, zahtjevi kupca, tehnički zahtjevi, određene su varijable kritične za kvalitetu, razvijen je superiorni koncept proizvoda te odabran isti, a na kraju je odrađen pregled prolaza. Zahtjevi kupaca su formirani u kategorije, prema zahtjevu za staklenom podlogom, koje su identificirane kao FTS ili NUD. Nakon toga su zahtjevi za staklenom podlogom prevedeni u mjerljive tehničke zahtjeve kao što su hrapavost, CTE, debljina, prozirnost,... Zatim je izrađena kuća kvalitete koje prikazuje odnos između zahtjeva kupaca i tehničkih zahtjeva, te je odabiran superiorni koncept pomoću Pughove matrice gdje se kao referentno rješenje uzima Pyrex boro-silikatno staklo. Međutim niti jedan od koncepta nije u potpunosti zadovoljio zahtjeve za proizvodom i preradom. U idućoj fazi, fazi izvedivosti naglasak se stavlja na tehnološku izvedivost superiornog koncepta gdje se procjenjuje tehnička izvedivost postavljenih prototipova. Prototipovi se šalju potencijalnim kupcima koji daju povratne informacije o dimenziji stabilnosti, trajnosti, čistoći i glatkoći površine. Rezultat je da kupac 1 nije bio spremna kupiti proizvod, kupac 2 naveo je da je cijena odlučujući čimbenik, a kupac 3 bio je

voljan razmotriti proizvod. Nakon toga uslijedila je faza razvoja u kojoj je Corningov proces stapanja stakla dizajniran i testiran na pilot postrojenju za najperspektivnije staklene kompozicije. Zatim faza proizvodnje te faza uvođenja proizvoda. Cijenu za staklenu podlogu Corning-7059, kao prvi u nizu proizvoda, bilo je teško odrediti.

7. LITERATURA

1. Warren D. Seider, J.D. Seader, Daniel R. Lewin, Soemantri Widagdo, *Product and process design principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation*, Third Edition, 2009., str.1.-6.
 2. Sharon Bertsch McGrayne, *Prometheans in the Lab: Chemistry and the Making of the Modern World*, 2001., str.95.-105.
 3. Information Display, *The Official Journal of the Society for Information Display*, 2008., str.26.-31.
 4. Widagdo S., *Incandescent light bulb: Product design and innovation*, ind. eng. chem. res., **45**, 2006., 8231.–8233.
 5. V. K. Narayanan, Gina Colarelli O'Connor, *Encyclopedia of Technology and Innovation Management*, 2010., str.158.-166.
 6. Warren D. Seider, J.D. Seader, Daniel R. Lewin, Soemantri Widagdo, *Product and process design principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation*, Third Edition, 2009., str.32.-53.
 7. Thomas Juli, *Leadership Principles for Project Success*, 2010., str.100.-206.
 8. John Clarkson, Claudia Eckert, *Design Process Improvement: A review of current practice*, 2005., str.387.-394.
 9. Costa, R., G.D. Moggridge, and P.M. Saraiva, *Chemical Product Engineering: An Emerging Paradigm within Chemical Engineering*, *AIChE J.*, **52**, 2006., 1976.–1986.
 10. Cussler, E.L. and G.D. Moggridge, *Chemical Product Design*, Cambridge Univ. Press 2001., str.42.-123.
 11. Ng, K.M., R. Gani and K. Dam-Johansen, *Chemical Product Design: Toward a Perspective Through Case Studies*, Elsevier 2007., str.56.-80.
 12. Shaeiwitz, J.A. and R. Turton, *Chemical Product Design*, *Chem. Eng. Educ.*, Fall 2001., str. 280.-285.
- Tankoslojna podloga za LCD zaslone
13. Bocko, P.L., and M.H. Mitchell, *AMLCD Glass Substrates Foundation for HighTech Displays*, *Glass Researcher*, **12**, 2003., 1/2. 26.-28.
 14. Bocko, et al., *Developing Winner*, *American Ceramic Soc. Bulletin*, **85**, 2006., 35.-36.
 15. Brody, T.P., *Birth of the Active Matrix*, *Information Display*, **13**, 2007., 28.-32.
 16. Creveling, C.M., J.L. Slutsky, and D. Antis, Jr., *Design for Six Sigma in Technology and Product Development*, 2003., chapter 5-chapter 17

17. Yue Kuo, *Proceedings of the Third Symposium on Thin Film Transistor Technologies*, 1997., str.34.-43.

18. <https://www.pgo-online.com/intl/7059.html> (pristup 5.7.2019.)

19. Warren D. Seider, J.D. Seader, Daniel R. Lewin, Soemantri Widagdo, *Product and process design principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation*, Third Edition, 2009., str.389.-399.