

以決策實驗室分析法 評估選擇電動機車設計原型之關鍵要素

An Assessment of Key Criteria for Selecting Prototypes for Electric Scooters Using Decision Making Trial and Evaluation Laboratory.

黃柏翰 研究生 國立臺灣師範大學工業教育學系科技應用管理組 Email: hh043087@gmail.com
黃啟祐 特聘教授 國立臺灣師範大學工業教育學系 Email: cyhuang66@ntnu.edu.tw

摘要

由於電動機車可以減少空氣污染和對化石燃料的依賴，因此成為世界上最成功的電力驅動運輸工具之一。隨著環保意識抬頭，機車廠商紛紛投入電動機車之發展。原型為「沿一個或多個感興趣的方向所發展的產品模型」，電動機車原型設計為商品化過程中的必經之路，唯少有學者或業界專家研究，如何選擇適合的原型設計。傳統上，設計師需要多個決策準則，以選擇原型設計，但決策準則往往缺乏系統性的探討，但本議題對於電動機車廠商而言，十分具體且重要。

為跨越研究缺口，本文使用決策實驗室分析法（Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL）選擇電動機車設計原型之準則。首先，本研究透過文獻回顧，了解產生電動機車設計原型的背景與過程，並整理評估準則後，設計五點量表問卷，並請專家回答問卷，以獲得各準則間的影響關係。依據研究結果，車體比例為影響電動機車原型設計之最重要準則，而電池裝配空間及位置受車體比例，透過前後輪比例、外型設計、全車重心配置、色彩計畫及表面處理、置物箱容量等準則影響。本研究之結果，可作為電動機車原型設計之參考，分析架構也可作為其他產品設計之用。

關鍵字：電動機車、原型設計、工業設計、決策實驗室分析法

(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)、多準則決策分析

ABSTRACT

Electric motorcycles have gained significant global success as a means of electrically-powered transportation due to their capacity to mitigate air pollution and lessen reliance on fossil fuels. With the growing awareness of environmental issues, there has been a notable increase in the allocation of resources by motorcycle manufacturers towards the research and development of electric motorcycles. A prototype is a product model that is developed along one or several directions of interest. The development of a prototype for an electric motorcycle is a crucial stage within the overall process of bringing the product to market. Nevertheless, there has been a limited amount of academic research and industrial expertise dedicated to the investigation of optimal methods for selecting the most suitable prototype design. In the conventional practice, designers typically depend on a variety of decision-making criteria in the selection of a prototype design. However, a notable deficiency often exists in terms of a systematic study of these criteria. Therefore, this subject holds significant importance and relevance for makers of electric motorcycles.

In order to address the existing research gap, this work utilizes the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) technique to ascertain the factors that should be considered while selecting prototype designs for electric motorcycles. This study begins by conducting a comprehensive literature review to gain insights into the underlying principles and methodologies involved in the development of prototypes for electric motorcycles. Subsequently, the study proceeds to establish a systematic framework for evaluating these designs by organizing relevant criteria. A questionnaire based



on the five-point scale was developed; opinions were collected from specialists in order to assess the influence relationships among different criteria. According to the research findings, the primary criterion impacting the design of the electric motorcycle prototype is the proportion of the vehicle. On the other hand, the allocation and placement of the battery assembly are influenced by various factors such as the proportions of the front and rear wheels, the overall distribution of the vehicle's weight, the design of the exterior, the color schemes, the surface treatments, and the capacity of the storage box. The findings of this study can be utilized as a point of reference for the development of electric motorbike prototypes, while the analytical framework employed can be extrapolated to inform the design of other products.

Keywords : Electric Motorcycle, Prototype Design, Industrial Design, Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Multiple Criteria Decision Making (MCDM)



1. 緒論

機車由於駕駛容易，且成本低廉，為開發中與第三世界廣為使用的交通工具，傳統上，使用內燃機的機車，造成空氣污染與噪音問題(Hernandez、Kockelman、Lentz 與 Lee, 2019)，也是人類對石油依賴度日增 (Leung、Burke、Perl 與 Cui, 2017) 與全球暖化 (Litman, 2002 年) 的因素之一 (Chen、Eccarius 與 Su, 2021)。近年來，由於開發中與第三世界國家的國民平均所得日益增加，且空氣污染惡化嚴重，某些國家開始禁止使用傳統機車，並鼓勵或補助人民購買電動機車。

電動機車可以說是世界上發展最成功的電動運輸工具，近年來，由於越來越多國家訂定禁止使用燃油汽機車的年限，並訂定補助電動汽機車之政策，而電池和控制技術之進步快速，電動機車的出貨量日增 (Jamerson 與 Benjamin, 2005)。因此，機車廠商紛紛投入電動機車市場，而電動機車的成功發展，也可加速電動汽車的發展(Weinert、Ogden、Sperling 與 Burke, 2008)。

電動機車開發的過程中，原型設計(prototype design)牽涉未來車輛的外型、功能以及目標市場消費者之需要(customer needs)，因此，原型設計的選擇，至為重要。電動機車產品的開發過程中，設計師往往先構思數個原型提案，供後續產品開發選擇。評估適合的原形，往往需要使用多個決策準則，唯如何選擇決策準則，少有學者討論，業者往往依據資深工程師的經驗，選擇原型。對於新進廠商，由於欠缺資深設計師，或者經驗不足，往往不能做出最佳判斷，並導致產品缺乏競爭力(黃思敏, 2021)。再者，雖然選擇原型的準則為數眾多，但真正能發生關鍵影響力的準則，十分有限。此外，選擇電動機車的準則，以及準則之間的影响關係，至關重要，為日後改善產品，或訂定行銷策略之重要依據，但也少有學者研究。

為解決此問題，本研究探討於電動機車產品開發的過程中，如何定義評估準則，選擇適合的原型設計。原型為「沿一個或多個感興趣的方向所發展的產品模型」。本研究擬探討電動機車的開發過程中，如何選擇適合的原形設計，以及研究原型設計對車輛的外型與功能及目標市場消費者需求之影響。透過實證分析所得之結果，將可做為發展新型電動機車之用。發展之分析架構，亦可供相關廠商後續研究及評估新產品概念之用。

本研究擬導入決策實驗室分析法 (Decision Making Trial and Evaluation

Laboratory, DEMATEL)，推導重要準則，以及準則之間的影响關係，並邀請台灣機車產業的專家，提供意見。決策實驗室分析法由 Gabus 與 Fontela 在 20 世紀 70 年代開發(Gabus 與 Fontela, 1972)，為一綜合分析方法，可用於推導決策問題各構面與準則間的影响關係。決策實驗室分析法最初用於建構諸多世界問題間複雜的因果關係。唯時至今日，本基於圖論(Graph Theory)的分析方法，已經廣泛應用於解決各種決策問題的建模。其他建構影响關係的方法，例如詮釋結構模式法(Interpretive Structural Modeling, ISM)，由於無法推衍影响關係之程度，其應用較為狹隘。

本研究分為五個主要部份，第二章介紹電動機車產業之背景與原型之定義。第三章討論了決策實驗室分析法，描述其應用和發展。第四章基於 DEMATEL，進行實證研究，構建電動機車產品開發的過程中，選擇原型設計之分析框架。第五章總結全文，並提出了研究如何選擇適合電動機車產品開發過程的原型設計的一些方案。

2. 文獻回顧

本章將探討電動機車產業的發展背景、原型設計、以及 DEMATEL 分析法的相關文獻，並藉由相關文獻的加以了解本研究的方向以及方法。

2.1. 電動機車產業的發展背景

號稱是「機車王國」的臺灣，截至 2021 年底，登記機車數量超過 2297 萬輛。眾多機車數量，無疑增加環境的負擔。雖然臺灣自 2007 年 7 月起，採用了相當於歐盟 4 級的第 5 階段排放規定，但大量機車造成的溫室氣體排放和化石燃料消耗，仍是政府需要解決的長期問題。因此，用電動機車代替內燃機摩托車，為當務之急，可有效解決環境污染問題 (Lin、Suen 與 Jang, 2009)。而隨著全球油價波動、國內環保意識提高、汽車法規日益嚴格、以及政府對民眾使用電動汽車的補助與大力推動相關產業，再加上臺灣機車廠商過去整車開發的豐富經驗與成熟的工業技術，因此，非常適合切入電動機車之發展 (洪志昌, 2012)

2.2 原型設計

原型設計為新產品開發中的步驟之一，不論是開發新產品，或者改進現有產品，原型設計均扮演極為重要的角色。本節將回顧原型設計的定義、與新產品開發的關係、與原型設計的應用等相關文獻。本研究將原型定義為「沿一個或多個感興趣的方向所發展的產品



模型」。在這個定義下，任何至少有一個開發團隊感興趣的產品模型皆可以被視為原型設計。該定義不同於傳統包概念草圖、數學模型、模擬、測試組件和產品的全功能測試生產版本等 (Ulrich 等人, 2020) 原型設計之定義。原型設計是大多數新產品開發過程中的重要步驟。無論目標是開發新產品，或是改良現有產品，原型設計都是一種有價值的工具(Elverum 與 Tronvoll, 2016)。良好的設計資訊，可於設計過程早期，以簡易的原型，進行低成本用戶實驗獲得。簡單的原型設計，可以成為設計以用戶為中心新技術的寶貴工具，對「智能」消費產品尤然 (Brown, 2009)。

於產品開發專案中，原型設計往往被使用於學習、溝通、團隊整合和設定專案里程碑之用。原型設計被使用在學習方面時，往往用於回答兩類問題：「它真的能使用嗎？」、「它能否滿足客戶需求？」。原型設計用於溝通時，可大幅度強化公司高層經理人、供應商、以及合作夥伴間的溝通；產品設計可透過原型大致呈現其視覺、觸覺、以及空間關係，遠比口頭描述或產品草圖更易於理解。從開發團隊整合而言，產品原型可用於確保不同部門之間的整合順暢；由於產品原型之組裝，包含組成產品所需的所有零組件，因此，需要產品開發團隊之各部門共同參與。最後，從設定專案里程碑的角度而言，於產品開發後期，團隊經常使用設計原型證明產品已達到預期的功能水準。此外，在高階主管同意進行研發專案之前，產品開發團隊往往需要對其演示產品的基本功能 (Ulrich 等人, 2020)。總之，原型可為產品開發提供明確目標，呈現產品開發進度，並可用於執行計畫時，溝通、整合之用。

2.3 決策研究實驗室法

$$\rho = \min\{1/\max_i \sum_j a_{ij}, 1/\max_j \sum_i a_{ij}\}, i, j \in \{1, 2 \dots n\},$$

並將初始直接關係矩陣 A 乘以因子 ρ ，推衍一般化矩陣 N_R ，即 $N_R = \rho A$ ，其中 ρ 是列和與欄和兩數中，倒數較小者。

據此，可推導總影響關係矩陣 (Total Relationship Matrix, TRM)， $T_R = [t_{ij}]_{n \times n}$ ，其中， $T_R = N_R + \dots + N_R^\delta = N_R (I - N)^{-1}$ ，其中 $\delta \rightarrow \infty$ ， I 是單位矩陣。總影響關係矩陣列和與欄和向量分別為 r 和 c 。其中， $r_i + c_i$ 和 $r_i - c_i$ 分別代表第 i 準則之總影響性與影響/被影響之程度。於推導之後，可以 $r_i + c_i$ 和 $r_i - c_i$ 作為準

決策研究實驗室法為日內瓦 Battelle 紀念協會 (Battelle Memorial Institute of Geneva) 於 1972 至 1976 年間，為了執行科學與人類事務計畫 (Science and Human Affairs Program) 所發展出來的分析方法。最初，Gabus 與 Fontela (1972) 提出此方法，以解決複雜的全球性問題。本法後來被廣泛採用，解決複雜的決策問題，可提昇對於特殊問題、決策準則的群組、以及構面與準則間間影響關係的瞭解 (周國村與袁建中, 2014)。

決策研究實驗室法的主要概念，為建構構面或準則間的相互關係，並得出有效，具代表性的核心構面或準則。由於可有效解決管理問題，決策研究實驗室法已經成功地應用於行銷策略訂定 (Chiu 等人, 2006)、安全管理 (Liou 等人, 2007)、全球營運管理 (Tzeng 與 Huang, 2012)、產學合作之專利商品化績效評估 (Huang、Yang 與 Chen, 2021) 等實務問題，近年來，並已廣泛應用於解決政策定義、管理、產品設計、與其他社會問題 (Yang、Shieh、Huang 與 Tung, 2018)。

3. 研究方法

決策研究實驗室法的基礎，為離散數學的圖形理論，可用於推導決策問題中各構面或準則之間的相互影響關係 (

Tzeng 與 Huang, 2012)。

本研究採用 Huang、Yang 與 Chen (2021) 對 DEMATEL 之分析過程。首先，依據專家問卷，訂定初始直接關係矩陣 $A = [a_{ij}]$ ，其中，行數與列數均等於準則數 n 。其次，計算列和與欄和的最大值 ρ 如下：

則 i 之座標。透過呈現總影響關係，可導出所有構面與準則的影響關係圖 (Influence Relationship Map, IRM) (Huang、Yang 與 Chen, 2021)

綜上所述，我們可以得知，在選擇電動機車設計原型時，關鍵準則的選擇，應該考慮不同準則間的影響關係。以下是使用決策實驗室分析法 (DEMATEL) 選擇電動機車設計原型之關鍵要素的六個步驟：

- (1) 明確定義決策目標和可行準則。
- (2) 邀集工業設計專家訪談，並列出影響準



- 則。
- (3) 設計基於李克特五點量表之矩陣式問卷。
 - (4) 收集專家問卷。
 - (5) 依據專家問卷,使用決策實驗室分析法進行運算,以獲得各準則間的影響關係。
 - (6) 果得出關鍵要素,並用於選擇適當地電動機車設計原型。

4.實證研究

為實證研究方法之可行性,本研究邀集電動機車之設計專家,以決策實驗室分析法推衍選擇電動機車設計原型之關鍵要素,首先,選擇評估電動機車設計原型之要素,並於 4.2 節使用第三節介紹,使用 DEMATEL 選擇電動機車設計原型關鍵要素的六個步驟,推導準則間的影響關係,並呈現結果。

首先,本研究收集文獻,並邀集電動機車

工業設計專家(表一),歸納評估電動機車原型之七個準則:車體比例、置物箱容量、全車重心配置、電池裝配空間及位置、前後輪比例、色彩計畫及表面處理 (Color、Materials、Finish、CMF)、與外型設計。其後,並邀集專家填寫問卷,根據橫軸準則對縱軸準則之影響程度進行評分,問卷以李克特量表製作,將各構面從無影響到極高影響分為五個等級,分別表示 1:無關聯、2:低度關聯、3:中度關聯、4:高度關聯和 5:極高度關聯。於取得專家問卷結果之後,以矩陣方式呈現,求各準則影響關係之平均值,為直接關係矩陣(A),如表 2 所示。

表 1 為訪談及填寫問卷之專家

專家編號	職位	年資
1	電動機車設計師	5 年
2	工業設計師	3 年
3	工業設計師	3 年
4	電動機車行銷專員	3 年

表 2 直接影響關係矩陣(A)

構面	車體比例	前後輪比例	全車重心配置	電池裝配空間及位置	置物箱容量	外型設計	色彩計畫及表面處理
車體比例	5.000	5.000	5.000	4.000	1.500	1.000	1.000
置物箱容量	4.000	5.000	4.000	2.500	2.000	3.000	1.000
全車重心配置	4.000	4.000	5.000	5.000	3.000	2.000	1.000
電池裝配空間及位置	2.000	2.500	4.000	5.000	4.000	3.500	1.000
前後輪比例	1.000	4.000	4.000	4.000	5.000	3.000	1.000
色彩計畫及表面處理	1.000	3.000	2.000	3.500	2.000	5.000	4.000
外型設計	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.000	5.000

其次,將直接關係矩陣(A)各行與各列加總之最大值(25)作為一般化之基準 ρ ,將直接關係矩陣除以 ρ ,可得到一般化之影響關係矩陣(N),如表 3 所示。計算一般化影響關係矩陣(N)之後,可以取得總影響關係矩陣(T),如

表 4 所示。由總影響關係矩陣各行與各列和,可求得各準則之 r_i 與 c_i 值,接著再將 r_i 值與 c_i 值相加及相減,得出 r_i+c_i 與 r_i-c_i ,如表 5 所示。



表 3 一般化矩陣 (N)

構面	車體比例	前後輪比例	全車 重心配置	電池裝配空 間及位置	置物箱容量	外型設計	色彩計畫及 表面處理
車體比例	0.200	0.200	0.200	0.160	0.060	0.040	0.040
置物箱容量	0.160	0.200	0.160	0.100	0.080	0.120	0.040
全車重心配置	0.160	0.160	0.200	0.200	0.120	0.080	0.040
電池裝配空間及位置	0.080	0.100	0.160	0.200	0.160	0.140	0.040
前後輪比例	0.040	0.160	0.160	0.160	0.200	0.120	0.040
色彩計畫及表面處理	0.040	0.120	0.080	0.140	0.080	0.200	0.160
外型設計	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.160	0.200

表 4 總影響關係矩陣 (T)

構面	車體比例	前後輪比例	全車 重心配置	電池裝配空 間及位置	置物箱容量	外型設計	色彩計畫及 表面處理
車體比例	0.950	1.180	1.219	1.166	0.786	0.814	0.478
置物箱容量	0.852	1.117	1.104	1.036	0.757	0.858	0.465
全車重心配置	0.935	1.189	1.272	1.269	0.900	0.912	0.511
電池裝配空間及位置	0.755	1.016	1.114	1.164	0.873	0.907	0.477
前後輪比例	0.715	1.081	1.114	1.119	0.915	0.887	0.475
色彩計畫及表面處理	0.598	0.883	0.863	0.936	0.666	0.877	0.573
外型設計	0.380	0.506	0.514	0.525	0.395	0.594	0.485

表 5 r 、 c 與 $r+c$ (橫軸)、 $r-c$ (縱軸)之值

構面	r	c	$r+c_i$	$r-c_i$
車體比例	6.593	5.186	11.779	1.407
置物箱容量	6.189	6.972	13.162	-0.783
全車重心配置	6.988	7.200	14.189	-0.212
電池裝配空間及位置	6.306	7.214	13.520	-0.908
前後輪比例	6.306	5.292	11.598	1.014
色彩計畫及表面處理	5.396	5.849	11.245	-0.453
外型設計	3.398	3.463	6.861	-0.065

最後，依據 DEMATEL 分析結果，以 r_i+c_i 之值為橫軸， r_i-c_i 之值為縱軸，繪製二維圖形，並以箭頭標示各準則之間之影響關係，形成影響關係圖，如圖 1 所示。並可發現，在選擇

電動機車設計原型時，七個準則中，車體比例與前後輪比例影響程度最高，而且主要影響其他準則者。置物箱容量以及電池裝配空間及位置為主要受其他準則影響者。



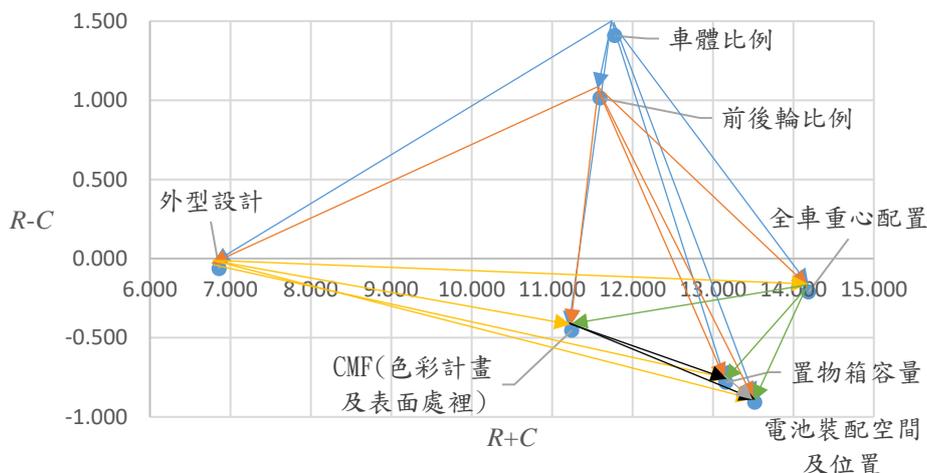


圖 1 各準則之相互影響關係圖

5. 結論與討論

電動機車因其環境友善與化石燃料依存性低等特性，已成為取代傳統機車的先進交通工具。近年來，隨環保意識高漲，多國訂定禁止使用燃油汽機車的年限，與控制、電池技術的大幅進步，電動機車市場成長快速，因此，許多廠商開發電動機車。選擇合適的電動機車原型設計，對於電動機車的商品化至為重要，但相關研究與系統性探討卻不多見。為解決此問題，本研究旨在探討，設計全新電動機車原型時，應該考慮的重要準則要。透過收集國內電動機車工業設計師所提供之意見，以決策研究實驗室分析後，得出各準則之間的影响關係。本研究發現，在選擇電動機車設計原型時，車體比例與前後輪比例影響程度最高，置物箱容量以及電池裝配空間及位置為主要受其他準則影響者。本研究的分析結果可以為電動機車廠商評估原型設計之用，分析架構也可作為其他行業設計新產品之用。唯本研究於台灣進行，能夠訪談的專家有限，因此，得到的結果，應用於其他國家或經濟體時，或許需要修正。而研究結果應用於不同市場區隔之消費者時，也應該針對客群特性調整。因此，未來的研究，可針對相關議題進一步探討。

致謝

本文作者感謝詹勳育教授於研究概念發展時之指導。

參考文獻

中文文獻

1. 洪志昌(2012)。台灣電動機車產業發展與

創新設計之探討與展望。臺北科技大學車輛工程系所學位論文,1-136。

2. 周國村、袁建中(2014)。應用決策實驗室分析 (DEMATEL) 與網路層級分析法 (ANP) 在研發專案計畫評選。中山管理評論, 22(3), 543-572。
3. 黃思敏 (2021)。【電動機車行不行】解決常見痛點 分析師揭影響消費者購買三大因素。台北市：環境資訊中心。https://e-info.org.tw/node/229846。

英文文獻

1. Brown, T. (2009). *Change by Design* Harper Business. New York, N.Y.: Business Week.
2. Chen, C. F., Eccarius, T., and Su, P. C., The role of environmental concern in forming intentions for switching to electric scooters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 154 (2021): 129-144.
3. Chiu, Y. J., Chen, H. C., Tzeng, G. H., and Shyu, J. Z., 2006, Marketing strategy based on customer behavior for the LCD-TV, *International Journal of Management and Decision Making*, 7(2/3), 143-165.
4. Elverum, C. W., Welo, T., & Tronvoll, S. (2016). Prototyping in new product development: strategy considerations. *Procedia CIRP*, 50, 117-122.
5. Eppinger, S., & Ulrich, K., (2015). *Product Design and Development*. New York, N.Y.: McGraw-Hill Higher Education.
6. Hernandez, M., Kockelman, K. M., Lentz, J. O., & Lee, J. (2019). Emissions and noise mitigation through use of electric motorcycles. *Transportation Safety and Environment*, 1(2), 164-175.
7. Hori, S. and Shimizu, Y., 1999, *Designing*



- methods of human interface for supervisory control systems, *Control Engineering Practice*, 7(11), 1413-1419.
8. Huang, C. Y., Yang, M. J., Li, J. F., & Chen, H. (2021). A DANP-based NDEA-MOP approach to evaluating the patent commercialization performance of industry-academic collaborations. *Mathematics*, 9(18), 2280-2289.
 9. Jamerson, F., & Benjamin, E. (2005). *Electric Bicycle World Report*, 7th Edition. Petosky, M.I.: Electric Battery Bicycle Company.
 10. Lin, B. M., Suen, S. H., & Jang, J. S. C. (2009). Promotion strategy of electric scooters in Taiwan. *World Electric Vehicle Journal*, 3(1), 69-72.
 11. Leung, A., Burke, M., Perl, A., & Cui, J. (2018). The peak oil and oil vulnerability discourse in urban transport policy: A comparative discourse analysis of Hong Kong and Brisbane. *Transport Policy*, 65, 5-18.
 12. Liou, J. J. H., Tzeng, G. H., and Chang, H. C., 2007, Airline safety measurement using a hybrid model, *Air Transport Management*, 13(4), 243-249.
 13. Litman, T. (2002). Evaluating transportation equity. *World Transport Policy & Practice*, 8(2), 50-65.
 14. Tzeng, G. H., & Huang, C. Y. (2012). Combined DEMATEL Technique with Hybrid MCDM Methods for Creating the Aspired Intelligent Global Manufacturing & Logistics Systems. *Annals of Operations Research*, 197(1), 159-190.
 15. Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Yang, M. C. (2008). *Product Design and Development*, 4, 1-3. Boston: McGraw-Hill Higher Education.
 16. Weinert, J., Ogden, J., Sperling, D., & Burke, A. (2008). The future of electric two-wheelers and electric vehicles in China. *Energy Policy*, 36(7), 2544-2555.

