



CHALMERS

Kriterieviktning för optimerad lokalisering av distributionslagersplats/crossdock för LTL- transporter: AHP och TOPSIS mot COG.

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi
och Produktionsteknik

HUGO CHRISTIANSSON
CARL MELIN

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR INNOVATION AND R&D MANAGEMENT**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2025
www.chalmers.se

Kriterieviktning för optimerad lokalisering av distributionslagersplats/crossdock för LTL- transporter: AHP och TOPSIS mot COG

HUGO CHRISTIANSSON
CARL MELIN

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för Innovation and R&D Management
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Kriterieviktning för optimerad lokalisering av distributionslagerplats/crossdock för LTL-transporter: AHP och TOPSIS mot COG

HUGO CHRISTIANSSON
CARL MELIN

© HUGO CHRISTIANSSON, 2025
© CARL MELIN, 2025

Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2025

Förord

Stort tack till Aurobay Sweden, Markus och Alexander för all hjälp och stöd i samband med vårt examensarbete. Det har varit väldigt givande och intressant att vara med på under denna process.

Kriterieviktning för optimerad lokalisering av distributionslagerplats/crossdock för LTL-transporter: AHP och TOPSIS mot COG.

HUGO CHRISTIANSSON

CARL MELIN

Institutionen för Teknisk Ekonomi och Organisation

Chalmers Tekniska Högskola

Department of Technology Economics and Organization

Chalmers University of Technology

Summary

In modern supply chain management, the strategic placement of distribution warehouses plays a critical role in minimizing transport costs and environmental impact, especially in industries such as automotive manufacturing where supplier networks are complex and Just-In-Time logistics are central. This thesis explores how mathematical decision-making models can be used to optimized warehouse location, focusing on Less-Than-Truckload (LTL) transport scenarios involving multiple suppliers and one final destination.

The study applies two Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) methods, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and compares them with the more traditional Center of Gravity (COG) method. A case study was conducted in collaboration with the automotive company Aurobay, using real-world supplier and transport data to evaluate potential warehouse locations.

Through a combination of literature review and semi-structured expert interviews, four quantifiable and relevant criteria were identified and weighted using AHP: proximity to suppliers, proximity to logistic hubs, access to renewable energy and labor costs. These were then applied in a TOPSIS analysis for the case study, where six European cities were evaluated as potential warehouse locations.

The findings in the study show that methods like AHP and TOPSIS provide a more extensive basis for decision-making by incorporating both economical and sustainability-related factors. In contrast, the COG method which only accounts for geographical location and weight, fails to reflect the full complexity of strategic logistics planning. The comparison reveals differences in recommended locations depending on the chosen method. The results emphasize that modern warehouse location decisions benefit from combining quantitative modeling with expert judgement. The presented approach is adaptable and can support companies in similar industries aiming for cost-efficient and environmentally conscious supply chain decisions.

This Bachelor's Thesis is written in Swedish.

Keywords: Warehouse location, AHP, TOPSIS, Center of Gravity, supply chain design, MCDA, logistics optimization

Innehållsförteckning

Examensarbete: Kriterieviktning för Optimerad Lokalisering av Distributionslagerplats/crossdock för LTL-transporter: AHP och TOPSIS mot COG.....	1
1. <i>Introduktion</i>	1
2. <i>Bakgrund</i>	2
3. <i>Syfte</i>	5
4. <i>Frågeställningar</i>	6
5. <i>Metod</i>	6
5.1. Forskningsupplägg och Metodval.....	6
5.2. Datainsamling.....	7
5.3. Dataanalys.....	9
6. <i>Teori</i>	10
6.1. AHP – Analytical Hierarchy Process.....	10
6.2. TOPSIS – Technique for Order of preference by Similarity to ideal Solution.....	13
6.3. Center of Gravity-metoden & Webers teori om industriplacering.....	15
6.4. Kriterier att vikta.....	16
7. <i>Avgränsningar</i>	17
8. <i>Resultat</i>	18
8.1. Analys av intervjuer.....	20
8.2. Resultat av testscenariot.....	20
8.3. Platser att undersöka med TOPSIS i testscenariot.....	21
8.4. TOPSIS testscenariot.....	23
8.5. Analys av testscenariot.....	25
9. <i>Diskussion</i>	26
9.1. Diskussion av intervjuer och kriterier.....	27
9.2. Diskussion om övriga kriterier som framgick från intervjuer:.....	29
9.3. AHP & TOPSIS vs COG.....	31
10. <i>Slutsats</i>	35
10.1 Möjlighet till framtida forskning.....	36
11. <i>Referenslista</i>	37

Examensarbete: Kriterieviktning för Optimerad Lokalisering av Distributionslagerplats/crossdock för LTL-transporter: AHP och TOPSIS mot COG

1. Introduktion

I dagens globala ekonomi är effektiv logistik och distributionshantering en viktig komponent för ett företags framgång. En central del inom logistik är valet av placering för lager och inte minst distributionslager, vilket påverkas av många olika faktorer. Optimering av lagerplacering är därför en kritisk och viktig fråga för företag som strävar efter att förbättra sin konkurrenskraft och effektivitet i sin respektive marknad, särskilt inom konkurrenskraftiga branscher som bilindustrin.

Distribuering av varor och produkter är en central del i hur företag styrs, där distribueringslagrets plats normalt sett beror på flera olika faktorer och kriterier (Keshavarz-Ghorabae, 2021). Distributionslagrets placering påverkar faktorer som transporttider, logistikkostnader och geografisk närhet till leverantörer i leveranskedjan, därmed påverkar det inte bara den operativa effektiviteten utan även företagets långsiktiga lönsamhet (Abhijit et al., 2023). Detta gäller även för crossdocks där den största skillnaden mellan en crossdock och ett distributionslager är utrymmet att lagra och användningsområdet, där crossdocks mer används som en plats för omlastning. Det saknas samma möjligheter att lagra varorna, men principerna för detta arbete gör att scenariot gäller för båda fallen. Inom bilindustrin, där just-in-time leveranser och komplexa leveranskedjor är centrala, blir optimering av lagerplacering därmed viktigt att beakta. Att välja en geografisk plats för ett lager innebär avvägningar mellan korta transportavstånd och tillgång till förnybar energi - två mål som ofta står i konflikt.

För att hitta optimala platser att placera lager på inom en försörjningskedja kan man använda sig av matematiska metoder, dessa metoder bygger på kriterier som används i beräkningarna. Problemet är att det väldigt finns många kriterier som kan beaktas i dessa metoder. Detta arbete ämnar därför att förenkla hur matematiska metoder används genom att identifiera och utvärdera kriterier för att hitta den mest lämpliga platsen att placera ett distributionslager.

Detta med särskild tillämpning för logistikkedjor inom bilindustrin även om tillvägagångssättet är applicerbart för andra industrier också.

Inom ämnet Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) finns det flera olika metoder som kan användas vid beräkning av lagerplacering, två välkända metoder inom ämnet är Analytical Hierarchy Process (AHP) och Technique for Order of preference by Simulartiy to Ideal Solution (TOPSIS) (Karmaker, Saha, 2015). De används vanligen tillsammans där de kompletterar varandra. AHP och TOPSIS kan till exempel användas vid platsoptimering i en försörjningskedja, men det finns inga specifika kriterier som kan användas till allmänna fall. Genom att bestämma och vikta ett antal kriterier som bör beaktas kommer arbetet att förenkla och undersöka platsbestämning för ett distributionslager i scenariot där det finns flera underleverantörer och en slutplats. Det kommer göra så att det blir mer tidseffektivt och mindre subjektivt att arbeta med modellerna i detta scenario.

För att beräkna placeringen av industrilokaler finns det andra mer traditionella metoder som tar hänsyn till färre faktorer. Weber's theory of Industrial Location är en sådan metod som används för att beräkna optimala platser att placera industrilokaler på, där framför allt närhet till destination tas hänsyn till (Rodrigue, 2024). En annan version av Weber's theory of Industrial Location är Center of Gravity-metoden. Inom COG räknas koordinater ut för att hitta en optimal plats att placera lokalen på med hjälp av de platserna som tas hänsyn till som in-data (XueYing, 2014). I kontrast ger AHP och TOPSIS möjligheten att undersöka fler kriterier för att få ett bredare beslutsunderlag. Det gör det möjligt att undersöka skillnaden detta ger på resultatet gentemot en metod som COG. Under arbetets gång utförs ett testscenario där viktningen som arbetet kommer fram till testas med hjälp av TOPSIS och AHP. Det gör det även möjligt att testa skillnaden i resultat som COG genererar med samma scenario för att ta reda på modellernas relevans för detta scenario.

2. Bakgrund

Beslut om placering för ett distributionslager påverkar flera konkurrerande faktorer, såsom transporttid, kostnader, miljöpåverkan och leveransprecision. Ett strukturerat ramverk som kan användas för att beräkna och lösa dessa flerdimensionella problem är Multi Criteria Decision Analysis (MCDA). Dessa matematiska modeller möjliggör systematiska

beräkningar som kan användas till att utvärdera och rangordna kriterier. MCDA modeller har många användningsområden men används bland annat till att beräkna den optimala placeringen för ett lager i en logistisk kedja (Keshavarz-Ghorabae, 2021).

Trots modellernas popularitet finns det flera utmaningar som kan göra dem svåra att applicera för företag i praktiken. Bland annat nämns de största utmaningarna med AHP och TOPSIS vilka kriterier som ska användas och hur de ska vägas mot varandra, vilket påverkar resultatets noggrannhet och kan skapa osäkerhet i hur pålitliga modellerna är om de inte väljs korrekt. De parvisa jämförelser som används i AHP-modellen anses enligt studier vara tidskrävande och utmanande att utföra (Karim, Karmaker, 2016). Detta innebär att med fler kriterier som ska vägas in, desto mer tidskrävande och komplicerad blir processen. Dessutom kan subjektiviteten i bedömningarna leda till inkonsekvenser och påverka resultatets tillförlitlighet (IIETA, 2023).

Genom att använda sig av en geometrisk beräkning, skiljer sig TOPSIS från AHP, båda är användbara inom multi-kriterie beslutshandling där metoderna kompletterar varandra och används tillsammans. TOPSIS är känslig för hur kriterieviktarna bestäms, vilket kan påverka resultatets noggrannhet (Olson, 2004). Via subjektiviteten i kriterieviktningen påverkas indirekt ideal- och icke-ideallösningar, något som syns senare i teorikapitlet med TOPSIS.

En utmaning som uppstår vid användning av dessa MCDA metoder är att det är problematiskt att ta bort, lägga till eller justera en kriterie vid beräkningsfasen (Wang & Luo, 2009). Detta leder till att vid beräkningen med stora matriser riskerar värderingen att bli fel, och resultatets trovärdighet minskas. Detta visar på att viktningen är en stor svaghet i metoden, som behöver vara noggrann samtidigt som den beaktar alla tänkbara kriterier som kan påverka resultatet.

Center of Gravity metoden (COG), som är en "vidareutveckling" av Webers teori om industrilokalisering, tillämpas genom att beräkna den centrala platsen mellan olika punkter med syftet av att minimera transportsträckor och fraktkostnader. Modellen minskar alltså det geografiska avståndet mellan platser. Det gör att resultaten borde skilja sig avsevärt mellan modellerna med tanke på skillnaden i omfattning av kriterier. Därför ämnar undersökningen att ta reda på skillnaden och därmed relevansen att använda sig av de olika metoderna för detta ändamål och scenario.

Det finns många faktorer att ta hänsyn till vid beslut av lagerplacering, där fraktkostnader och hållbarhetskriterier är centrala faktorer för modern industri och logistik. Fraktkostnader innefattar en stor del av de operativa kostnaderna för en leveranskedja och är avgörande för att utvärdera olika transportalternativ och optimera logistikprocesser (Chopra & Meindl, 2016). Samtidigt har hållbarhetskriterier, som koldioxidutsläpp och effektiv resursanvändning, blivit allt viktigare till följd av miljökrav från politiska insatser. Inom Europa driver exempelvis Europeiska unionen- European Green Deal som strävar mot en 90 procentig minskning av transportrelaterade utsläpp till 2040 räknat från 1990 (European Commission, 2020). Detta tillsammans med ökade krav på företag att rapportera och minska sitt koldioxidavtryck stärker behovet av hållbara leveranskedjor och logistiklösningar (Srivastava, 2007). Denna situation har utvecklat en komplexitet i beslutsfattandet, där ekonomisk effektivitet allt oftare kommer att vägas mot miljömässiga mål (Dekker et al., 2012). Fraktkostnader och hållbarhetsmål nämns som två viktiga aspekter vid design av försörjnings- och logistikkedjor.

I samband med att minska kostnader och ta hänsyn till miljön finns det flera områden som kan beaktas, bland annat val av transport och hur maximering av last-utrymmen utnyttjas. LTL (Less-Than-Truckload) är transporter där man inte utnyttjar hela lastutrymmet (Daudi, Thoben, 2020). Att hitta platser där LTL-transporter möts upp i en crossdock/distributionslager för att sedan kunna transporteras vidare i FTL-transporter (Full-Truckload) till slutplats ligger i företagsverksamhetens intresse. Detta för att verksamheten så effektivt som möjligt ska utnyttja sina transportutrymmen. LTL-transporter utnyttjar platser där det finns för att slippa köra långa sträckor med ej fyllda laster och därmed minska koldioxidutsläpp och kostnader (Daudi, Thoben, 2020). LTL-transporter förekommer av flera anledningar och faktorer. I bilindustrin där prioritering av korta ledtider är vanligt, medför LTL-transporter möjligheten att skicka frekventa leveranser av små volymer. Detta sker delvis för att minska lagerhållning och kapitalbindning men också öka flexibiliteten då efterfrågan kan fluktuera. Det är svårt att undvika LTL-transporter då många större industrier har underleverantörer med en stor variation av artiklar, vilket gör det svårt att skicka fulla laster från alla platser.

Till följd av tidigare stycken så är dessa mål relevanta att undersöka i arbetet:

- **Fraktkostnader/kostnader** blir en central parameter i beslutsmodellerna, med målet att minska totala logistikkostnader och förbättra ekonomisk effektivitet. I fraktkostnader ingår kostnaderna som kopplas till varför en plats väljs och vilka implikationer detta ger. Det finns direkta fraktkostnader som kopplar till vikt, volym, avstånd men också kostnader som relaterar till att bedriva verksamheten på specifika platser.
- **Hållbarhet/miljövänlighet**, där tillgänglighet till förnybar energi och närhet till underleverantörer och val av miljövänliga transportsätt/transportmedel finns som möjliga kriterier.

För att möta dessa utmaningar är det relevant att försöka ta reda på vilka kriterier som bäst lämpar sig att använda sig av i dessa matematiska modeller. Genom att konkret undersöka vilka kriterier som främst bör prioriteras vid ett distributionslagers placering så kan metoderna bli mer tillförlitliga, lätthanterliga och mindre tidskrävande.

3. Syfte

För att möta utmaningarna kopplade till vilka kriterier som ska användas inom de matematiska modellerna ämnar arbetet att undersöka de mest lämpade kriterierna för att hitta den mest optimala plats att placera ett distributionslager på. I arbetet kommer metoderna AHP och TOPSIS att användas tillsammans för att utvärdera och testa den kriterieviktning som arbetet kommer fram till. Syftet är att underlätta identifiering och viktning av kriterier för distributionslagerplacering/crossdock i ett scenario med flera underleverantörer och en slutplats.

Då det finns flera metoder att undersöka platsval av distributionslager på ämnar arbetet även att jämföra resultatet som ges av AHP och TOPSIS med Center of Gravity-metoden. Jämförelsen belyser skillnader i metodernas utfall och lämplighet, med särskilt hänsyn till att COG beaktar färre faktorer och kriterier.

4. Frågeställningar

Nedan presenteras de frågeställningar som arbetet ämnar till att besvara.

- RQ1- Vilka är de viktigaste kriterierna och hur ska de vägas vid lagersplacering i en försörjningskedja i vårt scenario?
- RQ2- Vilket tillvägagångssätt passar bäst för scenariot och skiljer sig resultaten nämnvärt?

5. Metod

Detta kapitel redogör för den metod som tillämpades för att besvara båda frågeställningarna, den första om vilka kriterier som är viktigast för distributionslagerplacering i den tillämpade fallstudien, kopplat till fraktkostnader, kostnader och miljövänlighet. Detta applicerades i fallet med flera underleverantörer och en kund/slutplats med LTL-transporter, den andra frågeställningen besvarades även genom att analysera hur resultaten från AHP och TOPSIS skiljer sig från Center of Gravity (COG). Arbetet syftade till att optimera beslutsfattningen kring lagerplacering för det specifika scenariot med flera underleverantörer och en slutdestination. För att på ett systematiskt sätt angripa fallstudien genomfördes metodupplägget i fem faser: Litteraturstudier, val av kvantifierbara kriterier, semistrukturerade intervjuer med experter, analys av den insamlade datan (AHP och TOPSIS) och sedan jämförelse med Center of Gravity. Litteraturstudier och intervjuer etablerade MCDA-modellerna, kriterier och deras viktning, vilket besvarade den första frågeställningen. AHP och TOPSIS rangordnade sedan platser, medan COG beräknades för att jämföra de olika metodernas utfall, vilket besvarade den andra frågeställningen. Kapitlet är strukturerat i tre delar: Forskningsupplägg- och metodval, datainsamling, och dataanalys.

5.1. Forskningsupplägg och Metodval

En fallstudie genomfördes hos Aurobay för att undersöka optimal placering av ett distributionslager i bilindustrins leveranskedja, med en metodansats som kombinerade kvantitativa och kvalitativa element. Litteraturstudier på akademiska källor användes för att kartlägga teorier om Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) och geografisk optimering. Semistrukturerade intervjuer valdes för att samla expertperspektiv på kriterierna, vilket gav data för kriterieviktningen och besvarade den första frågeställningen (DeJonckheere &

Vaughn, 2019). Analytical Hierarchy Process (AHP) som en av MCDA-modellerna valdes för att väga kriterier, eftersom metoden strukturerar subjektiva bedömningar genom parvisa jämförelser (Saha, Karmaker, 2015). Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) tillämpades för att rangordna platser baserat på de kriterieviktningar och den kvantitativa data som användes (Chakraborty, 2022). Center of Gravity (COG) valdes som en alternativ, enklare metod, för att möjliggöra en jämförelse mellan metoderna och besvara den andra frågeställningen. Metodvalet möjliggjorde för studien att kunna ta del av en kombination av kvalitativ- och kvantitativ data. Kombinationen av metoder var lämplig för att systematiskt analysera både kriterier och platser i ett komplext, flerdimensionellt beslutsproblem. Genom semistrukturerade intervjuer kunde arbetet på ett systematiskt sätt samla information och perspektiv från experter på de kriterier som undersöktes, datan användes senare till kriterieviktningen till den första frågeställningen.

5.2. Datainsamling

Vid litteraturstudierna upptäcktes det att identifiering av kriterier och kriterieviktningen var svår att utföra, det fanns även väldigt lite data att hämta från liknande fallstudier med flera underleverantörer och en slutdestination. Akademiska artiklar och kurslitteratur granskades, med fokus på MCDA-metoder och geografisk optimering (Karmaker, Saha, 2015). Detta resulterade i valet av AHP, TOPSIS och COG samt identifieringen av de kvantifierbara kriterier som analyserades.

I samband med detta inkluderades kvantitativ data i modellerna som främst tillhandahölls av Aurobay, datan från Aurobay inkluderade alla leverantörer till fallstudien, transportvikter, typ av transport, estimerade transportkostnader och volym på transporter. Utöver det användes även internet-källor för att komplettera datan som behövdes för att utföra TOPSIS och COG beräkningarna. Den kompletterande data innebar distanser mellan underleverantörer och de geografiska platser som undersöktes, detta uträknades med hjälp av Google Maps. Övriga data som energimix och arbetskraftskostnader var även kompletterad via offentliga källor på internet, dessa källor presenteras i Resultatet.

För att rangordna kriterierna, som metoderna baserades på, var det relevant att studien skulle använda sig av intervjuer som en del av datainsamlingen gällande kriteriernas viktning. Semistrukturerade intervjuer genomfördes med sex experter från Aurobay och XR Logistics,

inklusive logistikchefer, platschefer och supply chain managers. Urvalet baserades på deras erfarenhet inom bilindustrins logistik och erfordrades av arbetets handledare på Aurobay. Det var även viktigt att urvalet med respondenter hade olika erfarenheter och positioner i sina företag för att AHP-viktningen skulle vara mer omfattande. Intervjuerna användes som underlag till den analys som sedan utfördes för att kunna göra en AHP. Resultatet från intervjuerna stod som grunddata där en tolkning av resultatet gjordes för att kunna göra en egen AHP-viktning följt av en egenvärdesmetod.

Intervjuer som metodval möjliggör för arbetet att ta del av viktig information och erfarenhet från kunniga experter inom området för att säkerställa kvaliteten på den data som används i arbetet. Arbetet använder sig därmed i huvudsak av en kvalitativ metod där intervjuerna ligger till grund för de viktningar som görs av kriterierna. Strukturen på intervjuerna var i semistrukturerad form. Denna form av struktur valdes för att ge respondenterna möjlighet att värdera samma kriterier men även ge möjlighet till att kunna ge tillägg i form av övriga kriterier som ansågs viktiga. Fördelarna med semistrukturerade intervjuer är att det finns en flexibilitet i form av följdfrågor som möjliggör för respondenten att kunna utveckla i det området den är särskilt kunnig inom (DeJonckheere & Vaughn, 2019). Strukturen möjliggör även att intervjuerna prioriterar respondentens perspektiv, vilket kan vara värdefullt inom områden som är specifika eller där det inte finns mycket forskning (Nathan, Newman & Lancaster, 2019).

Upplägget i intervjuerna var följande:

Först presenterades det scenario som arbetet undersökte och försökte förenkla att arbeta med så att alla respondenter hade samma förståelse. Efter det började intervjun där respondenterna fick väga de kriterier som arbetet hade tagit fram och föreslog som exempel till möjliga kriterier för detta scenario. Sedan fick respondenterna möjlighet att lägga till egna kriterier som de tyckte var viktiga att ta hänsyn till för fallstudien.

- **Presenterat scenario under intervjuerna:** Ett företag inom bilindustrin ska etablera ett nytt distributionslager/crossdock med ett specifikt mål – optimera lagerplacering, för omlastningsplats från LTL-transporter till FTL-transporter, för att minimera fraktkostnader och miljöpåverkan vid en ny kund/slutplats och flera underleverantörer. Det finns en mängd olika sätt att göra detta på, denna undersökning ämnar till att använda sig av AHP- och TOPSIS-metoderna där AHP

används för att väga olika under-kriterier för fraktkostnader och miljöpåverkan mot varandra medan TOPSIS-metoden används för att testa olika platser utifrån hur väl de presterar på de olika under-kriterierna. Problemet är att sällning av kriterier och hur de ska vägas emot varandra är just subjektivt, så med många inputs från personer med insyn i branschen, supply-chain och företag associerade med frakt kommer subjektiviteten inom viktningen minimeras och en övergripande viktning för detta scenario etableras. Det kommer att göra så att fler intressenter kommer kunna använda sig av samma viktning vid liknande problem.

- **Viktning av kriterier:** Respondenten ska vikta de fyra presenterade kriterierna, de vägs mot varandra 1–9 där 1 är lika viktigt och 9 är mycket viktigare. Exempel: Om 'tillgänglighet till logistikleverantörer' vägs mot 'närhet till underleverantörer', så bestämmer respondenten på en skala 1–9 på hur mycket viktigare det ena kriteriet är än det andra, där 9 är mycket viktigare och 1 är av samma vikt.
- **Övriga kriterier:** Vilka kriterier tycker du är viktigast vid lagerplacering för att minska fraktkostnader och minimera miljöpåverkan utöver de presenterade kriterierna för detta scenario?

5.3. Dataanalys

Efter slutförda intervjuer fanns det data från 6st respondenter, alla med kopplingar till industrin och branschen. Varje intervju gav sin egen bedömning av situationen där svaren låg som beslutsunderlag för att göra en AHP-analys för detta specifika scenario. I AHP-analysen användes den insamlade datan i en matris för de parvisa jämförelserna där viktningen sedan beräknas och resultat erhöles.

Viktningen från AHP användes sedan till att göra en TOPSIS i samband med data från testscenariot med Aurobay. I scenariot hos företaget behövdes ett antal platser som kan anses vara realistiska för att etablera ett distributionslager identifieras. Platserna som testades identifierades genom kartanalyser där både underleverantörer och slutplats togs i hänsyn till. De platser som valdes, valdes ut med viss variation i deras geografiska placering. Detta inkluderade större städer, med tillgång till vatten, hav, flod, järnväg eller bra väginfrastruktur.

TOPSIS utvärderade platserna genom en rangordning utefter dessa kriterier och hur väl de presterar för varje enskilt kriterie. Dessa värden jämförs sedan med ideallösningen (bäst

presterande värde) och icke-ideallösningen (sämst presterande värde) för varje kriterie och resulterar i att de olika platserna får ett värde i skala 0–1 (Chakraborty, 2022).

Parallellt med AHP och TOPSIS genomfördes en COG för samma testscenario. Datan som användes för COG är densamma som användes för AHP och TOPSIS, det vill säga information från Aurobay men saknar datan från intervjuerna. De två tillvägagångssätten jämfördes sedan, främst baserat på dess rimlighet och skillnad i resultat. Sedan utfördes en SWOT-analys med de två tillvägagångssätten för att tydliggöra styrkor, svagheter, möjligheter och hot emot framtida användningsmöjligheter. Därefter utfördes själva TOPSIS-analysen utifrån kriteriernas vägning och hur väl de olika platserna presterar mot de olika kriterierna.

6. Teori

Detta kapitel presenterar de tre matematiska modeller som används för att hitta optimala platser för distributionslager i arbetet. Med fokus på företags logistikkedjor och möjligheten att minimera fraktkostnader och miljöpåverkan. De tre metoder som används i detta arbete är: Analytical Hierarchy Process (AHP), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) och Center of Gravity (COG). Metoderna används ofta för typ av platsbestämmande inom MCDA (Karmaker, Saha, 2015). Det gör att de är relevanta metoder att använda i detta arbete. AHP och TOPSIS används ofta i kombination, där AHP väger kriterier och TOPSIS rankar alternativ. Problemet med detta tillvägagångssätt är att kriterieidentifikation och hur dessa ska vägas emot varandra är en tidskrävande och svår process där olika scenarier kräver egna viktningar.

Webers teori och Weiszfeldts metod beskrivs främst för att ge insyn och en historisk kontext till andra metoder som kan användas, och vad som har lett fram till COG-metoden. Kapitlet är strukturerat genom att beskriva metoderna och dess användning, samt de matematiska beräkningar i metoderna som kommer att användas i arbetet.

6.1. AHP – Analytical Hierarchy Process

AHP är en metod som används för att rangordna alternativ genom att bryta ner processen i en hierarkisk struktur (Saha, Karmaker, 2015). Först definieras målet med projektet. Här bestäms vad som ska optimeras med undersökningen och vad den huvudsakliga anledningen

till att projektet genomförs är. Sedan bryts problemet ned genom att dela upp i kriterier och subkriterier. Tänkbara kriterier till arbetet (inom logistik) kan vara fraktkostnader i form av kostnad per kilometer, möjligheter till högre utnyttjandegrad av redan befintliga logistiksystem och arbetskraftsutbud som kan kopplas till närhet till större ort och/eller transporthub.

När kriterierna är definierade jämförs de parvis mot varandra. Personer med mandat, erfarenhet och kunskap inom området bestämmer hur viktiga olika kriterier är i förhållande till varandra. Kriterierna får sedan en viktning med hjälp av egenvärdesmetoden som ger en numerisk vikt för varje kriterium.

6.1.1. Egenvärdesmetoden

Egenvärdesmetoden används för att räkna ut relativ viktighet mellan olika element och kriterier (betecknad som mängd X) enligt ett specifikt kriterie som betecknas (φ) (Bana e Costa, Vansnick, 2008). Till exempel, i en mängd transportkostnader kan φ vara olika parametrar som transportkostnader består av, ett exempel är kostnad per km. När alla kriterier har vägts mot varandra och viktningen har räknats ut så får varje kriterie en procentuell vikt, där alla kriterier tillsammans är lika med 100%.

Parvisa jämförelser mellan kriterier:

- **Numerisk bedömning:** En Person, benämns till exempel som J, J är en person med insyn och kunskap i företaget eller området, hens uppgift är att jämföra par av kriterier. Jämförelserna sker genom att tillsätta ett tal mellan 1 och 9, där 1 betyder lika viktigt som det andra kriteriet och högre tal visar en ökad viktighet av ett element som den jämförs emot. Exempel: Om kriteriet transportkostnad per km anses vara ganska mycket viktigare än kriteriet närhet till transporthub ges värdet $w_{ij} = 6$ på ett ungefär.
- **Muntlig/verbal bedömning:** Alternativt kan en person ge en verbal bedömning med uttryck som "lika viktig" eller "extremt viktig". Detta kan sedan omvandlas till numeriska värden 1–9.

Matrisuppbyggnad: Efter att bedömningarna har gjorts av kriterierna så byggs en matris upp där varje X är en rad och en kolumn. De olika delarna i matrisen representerar förhållandet mellan hur viktiga de är.

Beräkning av prioriteter:

- Viktningen för varje element räknas ut. Det görs genom att räkna ut egenvärdet för matrisen och där räknas även den normaliserade egenvektorn ut. Det genererar vikterna $w(x_i)$ för varje element x_i .
- Först räknas kolumnsummorna ut, följt av att värdet från den numeriska bedömningen som divideras av kolumnsummorna för varje kriterie.

Konsistens:

Metoden kontrollerar konsistensen mellan de olika vikterna med ett konsistensprov. Konsistensprovet där konsistenskvoten (CR) beräknas som förhållandet mellan Consistency Index (CI) och Random Index (RI). När konsistenskvoten CR är $\leq 0,10$ godkänns resultatet. Ifall alla värden som genereras i den normaliserade matrisen är av samma värde behövs inte en konsistens göras då den kommer att generera resultatet 0 och därmed godkänns.

Resultat:

Resultatet genereras i form av vikter för de olika kriterierna i form av procentsatser. Procentsatserna kan sedan användas inom TOPSIS för att utvärdera olika kriterier och alternativ.

Övrigt:

Det är den numeriska bedömningen som görs i en AHP som är subjektiv och inte beskriver vilka typer av kriterier som ska användas för olika specifika fall. Alltså, förarbetet med att ta fram vilka kriterier som ska användas och inom vilka områden dessa ska tillhöra, gör processen svårare och mer tidskrävande.

6.2. TOPSIS – Technique for Order of preference by Similarity to ideal Solution

TOPSIS-metoden bygger på förutsättningen att den bästa lösningen är den som har kortast avstånd till den positiva ideala lösningen och längst avstånd från den negativa ideala lösningen (Chakraborty, 2022). Ideallösningen är den bästa platsen och definieras som vara mest lik de bästa kriterierna och minst lik de sämsta kriterierna. Innan metoden används så vägs kriterierna men hjälp av en kriterieviktningmetod, arbetet har använt sig av AHP till detta som presenterades i föregående stycke. Viktningen bestäms som $W = W_j$ följt av att det används i en matris som benämns X med vägningsvektorn W . Steget tillämpas med AHP och visar på varför de båda matematiska modellerna kompletterar varandra bra och används tillsammans. Innan själva metoden kan användas behöver en beslutsmatris skapas med alla kriterier och alternativ (platser), där siffror på hur väl varje alternativ presterar läggs in. Vilka kriterier och platser som används i metoden bör användaren själv definiera, arbetets val av dessa 2 parametrar presenteras senare i arbetet.

Metoden använder sig av följande fem steg:

- **Steg 1: Räkna ut de normaliserade prestandavärdena** – Först görs en normalisering av prestandavärdena. Det görs för att kunna jämföra kriterier mellan olika typer av kriterier så att värdena är av samma dimension/skala.

Ekvation 1

Matematisk formel för normalisering

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Kommentar. Skapad med hjälp av XAI:s Grok.

- **Steg 2: Multiplicera vikter med värden** – Vikter och de normaliserade värdena, i detta fall från AHP, multipliceras för att bilda en viktad normaliserad beslutsmatris. Då får varje kriterie ”rätt” vikt så att de kan jämföras med varandra.

Ekvation 2

Matrisupbyggnad och multiplicering med vikter

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}$$

Kommentar. Skapad med hjälp av XAI:s Grok.

- **Steg 3: Hitta positiva och negativa ideallösningar** - Baserat på den viktade-normaliserade matrisen väljs de bästa möjliga och sämsta möjliga värdena för varje kriterie ut. Varje kriterie får därmed en ideal och icke-ideal lösning.
- **Steg 4: Räkna ut separationsvärden** – Varje alternativ räknas ut ett avstånd till inom varje kriterie för både den positiva och negativa ideala lösningen.

Ekvation 3

Matematisk formel för beräkning av separationssvärden

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

Kommentar. Skapad med hjälp av XAI:s Grok.

- **Steg 5: Räkna ut det totala preferensvärdet** - Ett preferensvärde för varje alternativ, plats i detta fall, räknas ut, ju högre värden som genereras desto bättre anses det prestera. Värde mellan 0–1.

Ekvation 4

Matematisk formel för beräkning av preferensvärde

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

Kommentar. Skapad med hjälp av XAI:s Grok.

Alternativen rankas sedan baserat på dessa preferensvärden, där ett högre värde innebär en högre ranking och en bättre plats på en skala 0–1. Ju närmare 1 ett alternativ presterar desto bättre passar det in på kriterierna och det specifika scenario som beräknas / analyseras.

6.3. Center of Gravity-metoden & Webers teori om industriplacering

Webers teori om industriplacering grundar sig i att lokalisera platser för industrier eller marknader för att minska kostnaderna som associeras med transport (Rodrigue, 2024). Teorin används genom att identifiera en punkt där transportkostnaderna för råvaror och produkterna blir lägst. Detta görs med något kallat lokaliseringstriangeln, där balanseras avstånden till två råvarukällor och en marknad. Det beskrivs bäst med en funktion av viktning och avstånd. Webers teori är grunden för de metoder som presenteras härnäst i teorikapitlet. Teorin tar hänsyn till om viktningen ska vara mer mot råvaror (leverantörer) eller marknader (kunder).

Weberproblemet är en specifik matematisk formulering i Webers teori där målet är att hitta en punkt i ett rum som minimerar de totala viktade avstånden (transportkostnaderna). Problemet bygger på Webers teorier, men mer exakt definierat som ett optimeringsproblem.

Weiszfeldts metod är en algoritm som används för att minimera z i weberproblemet, där z är den totala viktade transportkostnaden uttryckt som en funktion av avstånd. En enklare förklaring är att Weiszfeldts metod är att det används som ett lösningsverktyg för Weberproblemet.

Center of Gravity (COG) är en utveckling av metoden som Weber använde på 1900-talet, den används för att analytiskt bestämma en optimal lagerplats genom att beräkna en viktad mittpunkt baserat på geografiska koordinater och exempelvis transportvikter eller -kostnader (XueYing, 2014). Metoden syftar till att minimera totala transportkostnader genom att balansera avstånd och volymer från flera platser, såsom flera underleverantörer och kunder. COG har tillämpats i planering av lagernätverk för vindturbiner, där transportkostnader reducerades (Yan & Zhou, 2020), i detaljhandel för att optimera distributionscentraler (Chopra & Meindl, 2016) och i humanitär logistik för att placera nödresurslager (Balcik & Beamon, 2008). Metodens enkelhet gör den lämplig för scenarier med flera leverantörer och en slutdestination, men den beaktar färre faktorer än mer avancerade MCDA-metoder.

Matematisk formel för att ta reda på vilka koordinater som minimerar avstånd till platser som transporterar en viss vikt:

Ekvation 5

Matematisk formel för beräkning av Center of Gravity

$$\begin{aligned} \circ x &= \frac{\sum (x_i \cdot w_i)}{\sum w_i} \\ \circ y &= \frac{\sum (y_i \cdot w_i)}{\sum w_i} \end{aligned}$$

Kommentar. Skapad med hjälp av XAI:s Grok. X = Slutlig X-koordinat, Y = Slutlig Y-koordinat, X_i = X-koordinat för plats, Y_i = Y-koordinat för plats, W_i = Viktning för plats.

6.4. Kriterier att vikta

Det finns flera kriterier att välja mellan som kan tas i hänsyn till när en plats för distributionslager väljs. Forskning och branschinsikter pekar på att faktorer som arbetskostnader, närhet till underleverantörer, infrastruktur och miljöpåverkan är centrala vid sådana beslut (Hy-Tek, Stewart, 2023; Tarigan et al., 2023). För att säkerställa precision i matematiska modeller som AHP och TOPSIS är kriteriernas kvantifierbarhet viktig, då exakta värden i form av exempelvis valutor (kronor), avstånd (kilometer) eller procentenheter (energiprocent) ökar analysens tillförlighet. Därmed valdes det i studien att identifiera kriterier som det finns tillgänglig data på för att säkerställa att beräkningarna i TOPSIS ska gå att genomföra.

De fyra kvantifierbara kriterier som identifierades och valdes under litteraturstudierna att användas i AHP och TOPSIS är: kostnad för arbetskraft i regionen, närhet till underleverantörer, närhet till logistikhubbar och tillgänglighet till förnybar energi. Kriterierna valdes för att de är direkt kopplade till fraktkostnader, övriga relevanta kostnader samt hållbarhet. Kriterierna är även kvantifierbara och har tydliga jämförbara värden, vilket var viktigt för resultatets noggrannhet. Genom att de introduceras under intervjuerna för respondenterna så verifieras dess applicerbarhet för detta scenario ytterligare genom att de alla viktades och inte var irrelevanta. Följande är tydligare beskrivningar av de 4 kriterierna som valdes i arbetet och varför de valdes:

- 'Kostnad för arbetskraft i region' påverkar direkt hur stor kostnad det blir för företaget att bygga, upprätthålla och bedriva lagret där det etableras. Dey et al. (2015)

och Tarigan et al. (2023) betonar arbetskraftskostnader som en avgörande faktor vid val av lagerplats, vilket direkt påverkar den ekonomiska lönsamheten.

- 'Närhet till underleverantörer' kopplar både till fraktkostnader och hållbarhetsperspektiv där kortare avstånd minimerar både fraktkostnader och miljöpåverkan. Dey et al. (2015) identifierar det som en kvantifierbar logistisk faktor, medan Hy-Tek (Stewart, 2023) understryker dess praktiska betydelse för leveranskedjans effektivitet.
- 'Närhet till logistikhub/logistikpartners' visar på platsens rimlighet och ger även en viss säkerhetsaspekt vid transportproblem. Ifall det finns andra etablerade logistiknätverk som utgår från en plats i närheten så finns det troligen ett etablerat infrastrukturnätverk med bättre vägar som kan utnyttjas. Detta kan minska leveranstiden och öka leveransprecisionen och därmed minska fraktkostnaderna. Tarigan et al. (2023) framhäver dess betydelse för att optimera transportnätverk. Med logistikpartners i närheten så kan dessa även utnyttjas vid problem i försörjningskedjan och minska risken för ej slutförda leveranser.
- 'Tillgänglighet till förnybar energi' kopplar direkt till hur viktigt det är för företaget att arbeta med hållbarhetsfrågor. Med en hög andel förnybar energi i elproduktionsmixen så minskar det totala klimatavtrycket där lagret byggs. Det gäller både när det kommer till användandet av lagret samt för framtiden när en ökad andel lastbilar kan komma att laddas med el. Det totala klimatavtrycket minskar ifall lastbilarna kan laddas och drivas med el producerat av förnybara källor. Raut et al. (2017) argumenterar för hållbarhetsfokuserade kriterier vid val av lagerplats för kemiska transporter i Indien, där tillämpningen med AHP och TOPSIS utförs genom kriterier som 'Provisions for energy saving' för att minska utsläppen vilket understryker miljömässiga aspekters betydelse.

7. Avgränsningar

Då testscenariot utgår från en databas med många leverantörer har valet gjorts att avgränsa antalet beräkningar som utförs i projektet genom att begränsa antalet leverantörer. Därför har

vi valt att titta på LTL-transporter i olika volymklasser och geografiska placeringar för att behålla testscenariots komplexitet, med både höga och låga volymer samt slumpmässiga geografiska platser. Vi har även valt att inte inkludera leverantörer från Sverige då det anses irrelevant att transportera varor ner till ett distributionslager söder om Sverige om slutdestinationen är Skövde.

Platserna som väljs ut utgår från stadskärnan i varje stad även om det inte är den exakta plats som slutligen kommer att väljas för att etablering. Alla avstånd mäts därmed från stadskärnan för att ge likvärdiga resultat för alla platser som testas.

RQ1 kopplar till fraktkostnader, kostnader och miljövänlighet vid det scenario med flera underleverantörer och en kund/slutplats med LTL-transporter som omlastas till FTL-transporter.

8. Resultat

I detta avsnitt presenteras svar och resultat från de semistrukturerade intervjuer som har gjorts med 6st experter inom supply-chain- och logistikbranschen. För att tydliggöra vilka svar som har getts och hur de skiljer sig från varandra så har en AHP tillämpats utifrån svaren från intervjuerna för att kunna ge en strukturerad viktning av de olika kriterierna.

Intervjuerna gjordes med experter på Aurobay & XR Logistics där alla respondenter är associerade inom supply-chain-, logistik- eller företagsbranschen och anses därför vara ett kvalitativt urval av personer. I samband med varje intervju så gavs respondenterna samma scenario för att minimera skilda tolkningar av uppgiften:

Efter gjorda intervjuer finns det en bättre bild av vilka kriterier som är de viktigaste utifrån detta scenario. Respondenterna fick i uppdrag att vikta de fyra presenterade kriterierna kopplade till fraktkostnader, kostnader och hållbarhet. Respondenterna fick även möjlighet att komplettera med ytterligare kriterier som de tyckte var viktiga för detta scenario.

Värdering från de olika intervjuerna är som följer:

Tabell 1

Placering av kriterier från intervjuer

	Närhet till underleverantörer	Närhet till logistikhub/logistikpart	Tillgänglighet till förnybar energi	Kostnad för arbetskraft i regionen
Respondent 1	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4
Respondent 2	Nr 3	Nr 1	Nr 4	Nr 2
Respondent 3	Nr 4	Nr 1	Nr 2	Nr 3
Respondent 4	Nr 1	Nr 4	Nr 2	Nr 3
Respondent 5	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4
Respondent 6	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4

Kommentar. Varje respondents värdering (placering) av kriterierna mot varandra.

Sammanställning av intervjuer där varje kriteriums rankning presenteras:

'Närhet till underleverantörer' – Medelplacering: 1,83, Typvärde: 1.

'Närhet till logistikhub/logistikpartners': – Medelplacering: 2, Typvärde: 2.

'Tillgänglighet till förnybar energi': – Medelplacering: 2,8, Typvärde: 3.

'Kostnad arbetskraft i region': – Medelplacering: 3,3, Typvärde: 4.

Med denna data som grund ger det arbetet en god möjlighet att göra en slutlig viktning av de olika kriterierna genom en egen AHP.

Ytterligare kriterier som framgår från intervjuer:

- Mognad i regionen – finns det andra logistikbolag där?
- Transporttid kopplat till leveransprecision – viktigt att det finns snabba transporttider till slutdestination (geografiskt flöde mot slutdestination).
- Närhet till slutdestination (viktigt att beakta för distributionslager).
- Moms-satser i landet där etablering sker.
- Typ av vara och varuvärde – kopplat till kapitalbindning.
- Närhet till stora hamnar för att kunna ta emot gods.
- Kostnad av byggande, markpris etc.
- Möjlighet till olika typer av transportsätt.
- Möjlighet till arbetskaper i region.
- Möjligheter till utnyttjande av befintliga kapaciteter från logistikpartners.
- Utveckla crossdocks och distributionslager för att kunna hantera returemballage samma väg som det transporterades på vägen dit.
- Politiska faktorer

8.1. Analys av intervjuer

Efter gjorda intervjuer fanns det en tydligare bild över vad som värderas högre för detta scenario och vad som värderas lägre. Genom att analysera datan som intervjuerna gav gjordes en analys där en viktning mellan kriterierna utfördes. Denna viktning ser ut som följer:

Tabell 2

Egen viktning

Viktningsskema AHP	Närhet till underleverantörer	Kostnad arbetskraft i region	Närhet till logistikhub	Tillgänglighet till förnybar energi
Närhet till underleverantörer	1.00	3.50	1.50	2.50
Kostnad arbetskraft i region	0.29	1.00	0.43	0.71
Närhet till logistikhub	0.67	2.33	1.00	1.67
Tillgänglighet till förnybar energi	0.40	1.40	0.60	1.00

Kommentar. Egengjord viktningsskema utifrån analysen av intervjuerna.

Matrisen utgår från att kriterierna i vänstra kolumnerna vägs mot den övre raden. Det vill säga att i cell 2 : 3, dvs andra kolumnen uppifrån-ner på vänster sida och tredje raden räknat från vänster, värdet är 3.5 vilket betyder att 'Närhet till underleverantörer' viktas mer än 'kostnad för arbetskraft i regionen' med ett värde på 3.5 på en skala 1-9.

Matrisen resulterar med hjälp av AHP och egenvärdesmetoden en slutlig viktning.

Slutliga vikterna för AHP är:

- Närhet till underleverantörer: 0,425 (42,5%)
- Närhet till logistikhub/logistikpartners: 0,283 (28,3%)
- Tillgänglighet till förnybar energi: 0,170 (17,0%)
- Kostnad arbetskraft i region: 0,121 (12,1%)

Den egna viktningen togs fram med hjälp av datan som samlades in från intervjuerna.

AHP:n gjordes utifrån värdena i sammanställningen av intervjuerna där det beskrivs hur kriterierna rangordnas. Värdena ifrån denna AHP användes sedan till beräkningarna i TOPSIS som användes till testscenariot i arbetet.

8.2. Resultat av testscenariot

Först gjordes en COG på testscenariot där en plats erhöles utifrån de 45st underleverantörerna och viktningen av dessa. Koordinatsystemet som användes är det vanliga globala koordinatsystemet WGS 84 (World Geodetic System 1984) som normalt används till kartläggning och GPS, det vill säga latitud och longitud som utgår ifrån ekvatorn i x-led och Greenwich, London i y-led. Resultatet utifrån COG visar koordinaterna:

- X: 48,70
- Y: 13,38

Detta genererar en plats i närheten av staden **Neukirchen vorm Wald** i sydöstra Bayern, Tyskland. Staden inkluderades därefter i TOPSIS-analysen tillsammans med de fem andra städerna som valts ut tidigare för test.

Till följd av resultatet som erhöles från intervjuerna och den egna AHP-viktningen gjordes sedan en TOPSIS-analys på de 45 underleverantörerna och 6 platserna. Värdena och siffrorna som användes i beräkningarna består av data hämtad från internet. För att hitta avstånd mellan de olika platserna som används i TOPSIS användes Google Maps som verktyg för att mäta vägavstånd. Därefter användes följande källor till testscenariot för att värdesätta 'kostnad arbetskraft i region' och 'förnybar energi i elmix' till korrekta siffror:

- SalaryExpert
- CBS, statistics Netherlands
- Ember-Energy
- IEA
- Payscale

8.3. Platser att undersöka med TOPSIS i testscenariot

Figur 6

Bild av Europa med underleverantörer från testscenariot utmappade



Kommentar. Utmappning av underleverantörer för att ge visuellt stöd för val av platser för test med hjälp av TOPSIS.

Baserat på en rangordnad lista med LTL-leverantörer från testscenariot har 45 leverantörer valts ut genom ett stratifierat urval, bestående av de 15 högst rankade, 15 från mitten och 15 från botten sett till deras transportvikt. Utifrån leverantörernas olika placeringar och vikter har fem platser (+1 från COG) valts ut för att testas med TOPSIS, där slutdestinationen är Skövde, Sverige. Blå markörer representerar de underleverantörer med högre viktmassa, röda pilar representerar de underleverantörer med medelhög viktmassa och gula pilar representerar de underleverantörerna med mindre viktmassa.

Större städer har valts ut för att testas då tillgång till arbetskraft och infrastruktur vid ett nytt distributionslager är viktigt för att verksamheten ska fungera. Det kommer även att generera bättre möjligheter för olika transportmöjligheter och närhet till stora transporthuber. Städer på flera olika platser kommer att testas, detta för att säkerställa en bred variation i resultaten och därmed identifiera vilka platser som är mest lämpade.

Inom TOPSIS så kommer även att platsen som genereras utav COG-metoden att vara inkluderad som eventuell plats. Detta för att testa ifall platsen är den bästa i ett annat tillvägagångssätt eller om det enbart är inom COG-metoden den presterar 'bäst'.

Städer som testas:

- Nürnberg
- Prag
- Amsterdam
- Köln
- Wrocław
- Neukirchen vorm Wald (plats genererad av Center of Gravity-metoden)

8.4. TOPSIS testscenariot

Nedan följer alla stegen som arbetet utförde i samband med TOPSIS för det testscenariot som arbetet testade och utvärderade. Detta för att ge en helhetsinsyn till hur metoden går till, det slutgiltiga resultatet syns sist i tabell 8.

Tabell 3

Beslutsmatrix för TOPSIS

Beslutsmatrix	Kostnad arbetskraft i region (eur/år)	Förnybar energi i elmix (%)	Närhet till logistikhub (km)	Tonkilometer (Närhet till underleverantör)
Nürnberg	54756	43	1	5 655 267,31
Prag	30900	12	1	5 785 156,96
Amsterdam	56414	63	1	10 385 348,65
Wrocław	22900	23	1	7 341 283,09
Köln	54467	43	1	7 970 070,24
Neukirchen vorm wald	55000	43	18	6 038 911,62

Kommentar. Inhämtad data för de olika kriterierna, vilket måste göras innan TOPSIS kan påbörjas.

Tabell 4

Normaliserad matrix för TOPSIS med vikter.

Vikt per kategori	0,121	0,17	0,283	0,425
Normaliserad matrix	Kostnad arbetskraft i region	Förnybar energi i elmix (%)	Närhet till logistikhub	Tonkilometer (Närhet till underleverantör)
Nürnberg	0,469	0,426	0,055	0,313
Prag	0,264	0,119	0,055	0,320
Amsterdam	0,483	0,624	0,055	0,574
Wrocław	0,196	0,228	0,055	0,406
Köln	0,466	0,426	0,055	0,441
Neukirchen vorm wald	0,471	0,426	0,992	0,334

Kommentar. Vikter per kriterie och normaliserad matrix.

Tabell 5

Viktad matrix för TOPSIS

Viktad matris	Kostnad arbetskraft i region	Förnybar energi i elmix	Närhet till logistikhub	Tonkilometer
Nurnberg	0,057	0,072	0,016	0,133
Prag	0,032	0,020	0,016	0,136
Amsterdam	0,058	0,106	0,016	0,244
Wroclaw	0,024	0,039	0,016	0,172
Köln	0,056	0,072	0,016	0,187
Neukirchen vorm wald	0,057	0,072	0,281	0,142

Kommentar. Vikter multiplicerade med kriterier ger en viktad matris.

Tabell 6

Ideal och negativ-ideal lösning för TOPSIS

	Kostnad arbetskraft i region	Förnybar energi i elmix	Närhet till logistikhub	Tonkilometer
Ideal och negativ-ideal lösning				
A+	0,024	0,106	0,016	0,133
A-	0,058	0,020	0,281	0,244

Kommentar. Identifierade ideala och negativ-ideala lösningar för varje kriterie.

Tabell 7

Separationsvärden för TOPSIS

Separationsvärden	Si+	Si-
Nurnberg	0,047147714	0,292287199
Prag	0,086344705	0,28763205
Amsterdam	0,116429973	0,278799555
Wroclaw	0,078150545	0,277515754
Köln	0,071842172	0,276228144
Neukirchen vorm wald	0,269578617	0,114703746

Kommentar. Separationsvärden för de ideala och negativ-ideala lösningarna beräknade.

Tabell 8

Slutligt resultat efter slutförd TOPSIS-analys:

Bästa plats	Skala 0-1
Nurnberg	0,86
Köln	0,79
Wroclaw	0,78
Prag	0,77
Amsterdam	0,71
Neukirchen vorm wald	0,30

Kommentar. Det slutgiltiga resultatet som TOPSIS genererade, värderingen för platserna baseras på en skala 0–1.

Först inhämtades all nödvändiga data för de platserna som arbetet testade. Varje plats har ett värde i alla kriterier (Se Tabell 3). Det första steget i beräkningen är att normalisera matrisen

så att alla värden är mellan 0–1 och därmed går att jämföra mellan olika kriterier (Se Tabell 4). Det andra steget är sedan att multiplicera in vikterna för de olika kriterierna med viktningen som togs fram med hjälp av en AHP och egenvärdesmetod. Det genererar en viktad matris (Se Tabell 5). Tredje steget är att hitta det bästa och sämsta värdet för de olika kriterierna inom samtliga platser. Varje kriterie får därmed en bästa och sämsta prestation (Se Tabell 6). Sedan räknades separationsvärden för alla platser ut, det vill säga hur långt ifrån de placerar sig från de bästa och sämsta prestationerna för varje kriterie (Se Tabell 7). Sista steget är att räkna ihop hur bra platserna presterar, det vill säga att den bästa platsen presterar bäst mot de bästa separationsvärdena och sämst mot de sämsta separationsvärdena (Se Tabell 8). För matematiska formler som stöd för de olika stegen (Se ekvation 1–4).

8.5. Analys av testscenario

Nürnberg placerar sig på första plats, tätt följt av Köln, Wrocław och Prag. Noterbart är att platsen som genererades av COG-metoden placerades sist när fler kriterier vägdes in under TOPSIS-analysen än under COG. Varför det blev så diskuteras och analyseras mer utförligt i diskussionskapitlet.

Kriteriet tonkilometer (närhet till underleverantörer) är det kriterie med mest vikt från intervju- och AHP-fasen i arbetet. Där placerar sig Nürnberg, Prag och Neukirchen vorm Wald bäst till, då minst antal tonkilometer minimerar både fraktkostnader och påverkan på miljön.

Under kriteriet 'närhet till logistikhub' ges alla fem utvalda städer 1km till närmaste logistikhub då alla städer uppfyller kriteriet fullt ut, det vill säga att det redan finns en etablerad infrastruktur i alla dessa städer. Neukirchen vorm Wald, som valdes ut med hjälp av COG, har en betydligt högre siffra (18 km) än de övriga (1 km) till närmaste logistikhub. Det visar på att trots platsens relativt nära lokalisering med Nürnberg så presterar den sämre på andra kriterier som, utöver tonkilometer, behöver tas hänsyn till vid nyetablering. Detta då det saknas god möjlighet till arbetskraft i region, relevant infrastruktur, logistikbolag i närheten (mognad i regionen) – alla tre kriterier som nämndes under intervjuerna som viktiga att undersöka vid platsbestämmande. Detta visar på kriteriets relevans vid denna typ av undersökning. Att bortse från centrala delar och endast dra slutsatser av geografiska och transportmässiga aspekter är därmed inget alternativ. Detta visar hur företag behöver

analysera ur ett större perspektiv där mycket måste tas hänsyn till så inget centralt bortses från. Om inte så kan det kan vid ett senare stadie av etableringsfasen identifieras problem med en specifik plats som hade kunnat identifierats tidigare under planeringsfasen.

I kriteriet 'förnybar energi i elmix' togs siffrorna från data från det land där platsen är lokaliserad. Det genererade att alla tre städer som undersöktes i Tyskland får samma siffra (43%) vilket placerar dem i mitten i denna kategori. Amsterdam fick den bästa siffran på 63% medan Prag och Wroclaw fick betydligt sämre siffror på 12% respektive 23%. Även om detta kriterie inte är det med störst vikt så kan det vara ett 'utslagskriterie' vid andra jämna kriterier och platser, något som hände i detta testscenario. Ifall Prag hade haft en högre siffra i denna kategori hade det blivit den bästa platsen, vilket visar att små nyanser i skillnad kan ge stor utslagsgivande påverkan.

För 'kostnad arbetskraft i region' användes snittlönen för den region som staden ligger placerad i. För att minimera kostnader associerade med att operera, nyttja och etablera lagret är det fördelaktigt ur en företagssynvinkel att detta kriterie är så lågt som möjligt. Givet intervjuerna så har denna kategori minst påverkan på vart lagrets slutgiltiga plats är, men det är fortfarande en kostnadsdrivande aspekt som optimalt vill hållas så låg som möjligt. Här placerar sig Prag och Wroclaw bäst till medan de andra städerna hade liknande siffror med över 50 000 EUR/år.

Noterbart är att det finns en viss korrelation mellan snittlön i ett land och dess andel av förnyelsebar energi i el-mixen. De platser med de högsta lönerna har högst andel förnyelsebar el samtidigt som de platserna med lägre löner har en mindre andel förnyelsebar el. Troligen har det att göra med att länder med högre löner som oftast är mer utvecklade tenderar att i en högre utsträckning satsa på 'grön energi'. Det gör att företag själva får välja vilken aspekt som de värderar högst i detta fall, mellan löner och förnyelsebar energi. Enligt denna undersökning värderas förnyelsebar energi högre än lokal kostnad för löner.

9. Diskussion

I detta kapitel diskuteras och analyseras resultatet från testscenariot. Kapitlet reflekterar över resultaten från det praktiska fallet, inklusive TOPSIS-analysens utfall och den framtagna platsen med hjälp av COG. Vidare diskuteras studiens styrkor, begränsningar och de

ytterligare kriterier som framkom i intervjuerna. Det presenteras även en SWOT-analys som framhäver de styrkor och svagheter som finns i modellerna men även risker och möjligheter som har noterats i samband med studiens testscenario.

9.1. Diskussion av intervjuer och kriterier

Resultaten från intervjuerna visar att det finns en rangordning av de 4 kriterierna i sammanställningen trots variationer i respondenternas bedömningar samt deras olika bakgrund inom logistik och supply chain. Det högst rankade kriteriet var 'närhet till underleverantörer' (medelplacering: 1.83) med en viktning som motsvarar ca 45% av den totala bedömningen. Kriteriets vikt speglar bilindustrins krav på korta ledtider och hög leveransprecision, där geografisk närhet till underleverantörer minskar fraktkostnader genom kortare fraktsträckor, optimerar leveransvolymen och ökar leveransprecisionen. Dessa parametrar minskar risken för förseningar och ökar säkerheten för den operativa verksamheten. Närhet till underleverantörer bidrar därmed till att reducera både direkta kostnader och indirekta risker, exempelvis produktionsstopp till följd av försenade leveranser, vilket är kritiskt i en industri med höga krav på effektivitet och tillförlitlighet. Något som kan förklara till varför respondenterna värderade kriteriet så högt.

Fluktuationer i efterfrågan kan också påverka en industri som bilindustrin där skiftningar kan ske snabbt. Genom att lokalisera lager närmare underleverantörer ges en större möjlighet att kunna arbeta mer med metoder som Just In Time och minska mängden kapitalbindning – ökad flexibilitet. Eftersom arbetet undersöker leveranskedjor med nyckelunderleverantörer utspridda i flera länder är en utmaning att minska den totala körsträckan sett till tonkilometer. Det understryker vikten att undersöka fler kriterier för att minska de totala kostnaderna och miljöpåverkan. Kriteriet 'närhet till underleverantörer' representerar till stor del COG genom att det sker en optimering av distansen som ska köras. Skillnaden är att det tar hänsyn till sträckan för transportvägen och inte fågelvägen som COG gör, en avgörande skillnad som gör beräkningen för TOPSIS mer exakt än den för COG.

Det finns även en viss form av hållbarhetsaspekt i kriteriet 'närhet till underleverantörer'. Ett argument är att det går att optimera transporter och minska det totala utsläppet genom kortare transportsträckor. Detta diskuterades även hos några respondenter och har påverkat

viktningen ytterligare genom ökad prioritering för detta kriterie, då minskad transportsträcka både är fördelaktigt ekonomiskt och miljömässigt.

'Närhet till logistikhub' placerades på andra plats vilket är en logisk prioritering då god infrastruktur säkerställer en effektivare distribution med bättre flöde mot slutpunkt, vilket togs upp av några respondenter under intervjuerna. Detta är speciellt viktigt vid etablering av crossdocks då möjlighet till effektiv hantering och omlastning är centralt. Vid närhet till hubbar finns det ofta tillgång till välutbyggda motorvägar, järnvägar eller större hamnar vilket ytterligare förenklar logistikflöden, vilket beskrevs som viktigt under intervjuerna. Det är i detta kriterie som Neukirchen vorm Wald hade en speciellt dålig prestation, vilket gjorde att den placerades sist i TOPSIS. Detta på grund av att alla de andra platserna hade samma prestation i detta kriterie (bäst), vilket gjorde att skillnaden blev markant.

Det finns vissa nackdelar att beakta ifall många logistikbolag hamnar på samma ställen geografiskt. En större koncentration logistikbolag/logistikhuber kan leda till ökad trängsel på vägar och annan infrastruktur, något som kan leda till förseningar i försörjningskedjan, vilket påpekades under några av intervjuerna. Det måste även finnas en god tillgång på övrig infrastruktur där till exempel elnätet måste vara tillräckligt utbyggt för att kunna hantera en allt ökande andel lastbilar och transportsätt som drivs av el. Lokal miljöpåverkan kan också vara en nackdel med en högre koncentration tung trafik lokaliserad på samma ställe. Regionala bestämmelser kan också göra det svårt vid nyetablering ifall det redan finns många logistikaktörer där.

Den tredje kriteriet i rangordningen var 'Tillgänglighet till förnybar energi' eller mer specifikt procentandelen förnybar energi i el-mixen för området vid placeringen. Detta kriterie valdes för att beakta industrins ökade krav på miljövänlighet och minskade utsläpp. Med en medelplacering på 2,8 vilket indikerar att det finns en viss betydelse i detta scenario, däremot är det inte i primärt fokus. Bilindustrins traditionella fokus på operativ effektivitet speglar tydligt att korta ledtider och kostnadsminskningar ofta väger tyngre än hållbarhetsaspekter. Trots detta visar kriteriets inkludering, särskilt hos vissa respondenter, att miljöhänsyn har en viktig betydelse i beslutsfattandet inom ämnet. Tillgång till förnybar energi kan minska koldioxidutsläpp från lagerdrift, såsom elanvändning för materialhantering eller fordonsladdning.

I testscenariot beaktades 'tillgänglighet till förnybar energi' i TOPSIS analysen, baserat på data om energitillgång (Ember Energy, 2025). Dess lägre vikt i AHP-viktningen innebär att kriteriet hade en delad andraplacing för platsen Neukirchen Vorm Wald, som togs fram av COG. Placerat i regionen Bayern, med avancerad infrastruktur och en mognad i bilindustrin, kan platsen möjligtvis rangordnas ytterligare för denna kriterie, däremot är den högst lämpade platsen Nürnberg också placerad i samma region. Detta var en av de 2 kriterierna som särskilde de olika platserna mer ifrån varandra. Prag och Wroclaw hamnade efter på grund av att Tjeckien och Polen inte har samma infrastruktur för förnybar energi som Tyskland och Nederländerna har sett utifrån den data som användes för TOPSIS.

På sista plats bland de presenterade kriterierna placerades 'kostnad arbetskraft i region'. Källorna som användes för att hitta datan var i huvudsak SalaryExpert där den regionala snittlönen för varje stad eller plats användes. Detta kriterie visar dels hur mycket det kostar att operera ett lager, även om dessa kostnader inte är särskilt stora (speciellt när det kommer till crossdocks), samtidigt som det kan ge en uppskattning för byggnadskostnader och andra kostnader associerade med nybyggnation och etablering på en ny marknad. Detta är delvis information och data som togs upp från respondenter under intervjuerna för arbetet, vilket bekräftar kriteriets relevans för detta scenario. Även om det placerades på sista plats så ger det ändå en vikt vid platsbestämmande på (12,1%) vilket är utmärkande och påverkar resultatet.

Trots att respondenternas erfarenheter och förberedelserna i form av frågeställning och ett presenterat scenario inför intervjun, beskrev alla att viktningen (bedömning 1–9) av kriterier var svår att utföra. Det visar på metodernas komplexitet, som tidigare nämnts i bakgrunden, stämmer överens med respondenternas uppfattning under intervjuerna.

9.2. Diskussion om övriga kriterier som framgick från intervjuer:

För att säkerställa att varje respondents perspektiv kom till sin fulla rätt och för att minska risken för gruppdynamiska effekter som kan påverka svaren, valdes enskilda intervjuer istället för en gemensam workshop med alla respondenter. En workshop hade möjligtvis varit aktuell där respondenterna tillsammans utförde identifieringen och viktningen av kriterierna, men detta hade samtidigt kunnat leda till att vissa röster styrde diskussionen. Genom att hålla intervjuerna separata kunde istället varje respondent fritt uttrycka sina prioriteringar och sina

övriga tankar utan att påverkas av någon annan, vilket stärker trovärdigheten i det insamlade materialet.

Intervjuerna etablerade 4st kriterier som redan fanns tillgängliga för respondenterna, det fanns även möjlighet för respondenterna att ta upp andra viktiga kriterier för detta scenario. Exempel på kriterier som togs upp är markpriser, möjligheter till olika typer av transportsätt, politiska faktorer och flera andra kriterier. Kriteriernas variation visar på uppgiftens komplexitet där det inte finns rätt och fel vid bestämmande om vilka kriterier som ska användas. Flera olika kriterier kan användas och det är upp till varje företag/intressent att göra en egen bedömning av varje situation. Vissa kriterier kan också vara svårare att mäta eller ge ett korrekt värde till för att kunna använda till de matematiska modellerna. Ett exempel är 'politisk stabilitet' och hur detta skulle kunna kvantifieras till en siffra.

Det hade varit intressant att mer kunna ta hänsyn till de kriterier som utöver de fyra kriterier som presenterades under intervjuer kom fram från respondenterna. Problemet med det är att för att få en heltäckande bild av viktningen så var det viktigt för resultatet att alla respondenter viktade samma kriterier. Annars hade det varit problematiskt att ta fram och skapa värden i form av en AHP om olika respondenter viktade olika många kriterier. Ett alternativ hade kunnat vara att ta hänsyn till vissa av de ytterligare kriterierna vid val av testplatser, men det är fortfarande problematiskt att skapa en viktning utifrån olika många kriterier per intervju.

Även om AHP/TOPSIS tar hänsyn till flera kriterier än COG, är båda modellerna fortfarande förenklingar av verkligheten. Intervjusvaren visade att vissa faktorer som politiskt klimat och framtida tillväxtpöjligheter värderas högt, men dessa var svåra att kvantifiera i modellerna. Därmed riskerar modellerna att missa eller förminska betydelsen av vissa överväganden som kan vara viktiga i verkliga beslutsprocesser. Detta indikerar att modellerna egentligen bör användas som stödjande, snarare än avgörande, verktyg i beslutsprocesser.

Det finns också en fråga om tidsaspekt, hur mycket ska nutiden beaktas kontra framtiden. I detta testscenario tog modellerna inte hänsyn till framtiden och alla möjliga förändringar som kan påverka beslutfattandet. Både COG- och AHP/TOPSIS-metoderna bygger i detta fall på en ögonblicksbild av nuläget, det vill säga aktuella transportvolym, energikällor och kostnader. Detta var även något som vissa respondenter tog upp, att beslut som enbart utgår

från nuläget riskerar att bli kortsiktiga eller snabbt inaktuella. Om förutsättningarna förändras snabbt, exempelvis genom politiska beslut, finns det en risk att den valda platsen inte längre är optimal. Vilket betyder att detta även bör inkludera framtidsscenarioer eller flexibilitet i beslutet, något som är svårt med modellerna men som har stor betydelse i praktiken. Detta kan möjliggöras genom att komplettera de kvantitativa metoderna med framtidsanalyser för att skapa mer robusta beslut över tid.

9.3. AHP & TOPSIS vs COG

Genom att använda AHP som metod för kriterieviktning och TOPSIS som metod för att rangordna geografiska platserna, kunde Nürnberg identifieras som den mest lämpliga platsen för etablering av ett distributionslager / crossdock. När samma praktikfall analyserades med hjälp av Center of Gravity-metoden, föreslog modellen i stället Neukirchen vorm Wald som optimal plats. Skillnaden i resultat beror på att AHP och TOPSIS tar hänsyn till fler kriterier, såsom tillgång till infrastruktur (logistikhuber), förnybar energi och arbetskraftskostnader, medan COG enbart utgår från transportavstånd och vikt. Trots platsernas närhet, ca 25 mil, genererades dem på olika sätt. AHP-analysen gav oss en viktning på ca 43 procent av kriteriet 'närhet till underleverantörer', vilket är likt den data som används i COG, distansen mellan underleverantör och slutdestination. Skillnaden är att TOPSIS använder transportsträckan från de olika underleverantörerna till slutdestination, Center of Gravity (COG) beräknar istället avstånd med koordinater (dvs. fågelvägen). Alltså är TOPSIS mer korrekt sett till den verkliga transportsträckan i logistikkedjan medan COG genererar en teoretiskt bästa plats utan några geografiska avgränsningar. Om viktningen hade varit annorlunda skulle skillnaderna i resultaten kunnat bli större, exempelvis om kriteriet 'närhet till underleverantörer' varit mindre viktad i intervjuerna hade TOPSIS troligtvis inte genererat samma värde för de olika platserna, eller om det fanns fler leverantörer i Östeuropa hade COG ändrats mer österut mot vad TOPSIS hade gjort. Resultatet visar att AHP och TOPSIS ger en mer detaljerad bild av de olika platsernas lämplighet. COG-metoden fokuserar på att hitta en geografisk mittpunkt, med hänsyn till transportvikt, men saknar flexibiliteten att hantera andra faktorer. För att tydligare presentera skillnader och likheter med metoderna, samt deras appliceringsområden har vi utfört en SWOT-analys av de båda metoderna. En SWOT-analys innebär en bedömning av styrkor (strengths), svagheter (weaknesses), möjligheter (opportunities) och hot (threats) vilket belyser de interna och externa faktorer som påverkar modellerna i arbetet.

9.3.1. SWOT-analys av Center of Gravity

Center of Gravity har ett enklare tillvägagångssätt att använda sig av där mindre information och mindre beräkningar behöver göras för att komma fram till ett resultat. Den enda informationen som krävs är de olika platsernas lokalisering i ett koordinatsystem följt av en viss viktning som bestäms utifrån vad som bäst beskriver det som vill uppnås. I detta arbete användes vikt från de olika underleverantörer för att bestämma hur just 'viktighet' en viss plats skulle ges. Det är ett sätt att använda sig av denna metod men långt ifrån den enda eller 'rätta' sättet att använda sig av. Det finns en möjlighet att introducera andra vikningskriterier som volym eller transportkostnad per kilometer, något som genererar andra resultat.

9.3.1.1. Styrkor

Fördelen med denna metod är att den är mindre subjektiv och mer tvärvetenskaplig där endast faktiska data används för att komma fram till ett resultat. Det är även en enklare metod att lära sig och hantera vilket gör att tidsåtgången att arbeta med processen blir relativt kort. Resultatet som genereras blir tydligt definierat med en tydligt 'bästa' plats.

9.3.1.2. Svagheter

En svaghet i modellen är att det är svårt att introducera mer än en eller två variabler som påverkar vart platsen i slutändan hamnar vilket minskar tillförlitligheten i resultatet. Ett ytterligare problem är att metoden endast tar hänsyn till 'fågelvägen' mellan de olika platserna i koordinatsystemet, där det inte går att implementera ifall det finns en väg eller möjlighet till transport mellan dessa två platser. Metoden räknar alltså bara på den kortaste vägen mellan två punkter, något som sällan är den faktiska vägen som används. Detta minskar ytterligare tillförlitligheten i resultatet från COG.

Det är även svårt att ta hänsyn till slutdestination vid arbete av denna modell, då viktningen för denna plats i så fall behöver definieras på något sätt. Arbetet valde att inte ta hänsyn till detta under testscenariot, men det är helt klart en nackdel med modellen att inte kunna förbestämma platser som testas. Detta då det optimalt är en mindre mängd varor som transporteras åt fel håll följt av att sedan transporteras från lagret till slutdestination för att minimera transportkostnader.

9.3.2. SWOT-analys av AHP & TOPSIS

AHP och TOPSIS använder sig av en mer analytisk metod som är mer tidskrävande men ger också mer nyanserade resultat. Arbetet ämnade att utföra en AHP utifrån de intervjuer som utfördes för att minska subjektiviteten i viktningen mellan de olika kriterierna. Detta lyckades då ett större beslutsunderlag, 6st intervjuer, är mer tillförlitligt än att en person ska bestämma viktningen mellan de olika kriterierna. Med det sagt så finns det inget rätt svar på hur kriterier ska viktas emot varandra eller vilka kriterier som ens ska användas. Arbetet har dock delvis lyckats med sitt syfte: att hitta viktningen mellan fraktkostnader, kostnader och miljöpåverkan och hur företag kan värdera detta i dagsläget. De kriterierna som presenterades under intervjuerna är exempel på vad som kan användas, det finns flera andra kriterier som hade kunnat användas för att beskriva vad som är viktigt. Det ger dock en övergripande bild över vad företagsindustrin värderar i den aktuella geopolitiska situationen.

9.3.2.1. Styrkor

Fördelen med att använda sig av AHP och TOPSIS gentemot COG är att det går att ta hänsyn till fler saker samtidigt och skaffa en bättre helhetsbild över eventuella platser. Genom att kombinera AHP och TOPSIS för detta ändamål ger det resultatet både en kvalitativ del i form av AHP och en kvantitativ del med TOPSIS vilket ökar tillförlitligheten i arbetssättet. Det gör det också möjligt att värdera många platser parallellt med varandra där ju fler platser som testas desto bättre och mer tillförlitligt svar ges. Detta syns tydligt i testscenariot där de slutgiltiga platserna för de två olika tillvägagångssätten gav helt olika svar, där Neukirchen vorm Wald placerades på sista plats i AHP- och TOPSIS-metoden. Det visar på modellens robusthet och den platsens olämplighet till just detta ändamål. En by i utkanterna av Bayern ger troligen inte de förutsättningar som krävs för etablering av distributionslager eller crossdocks. Att detta också visas i resultatet visar på modellens tillförlitlighet där det inte räcker för en plats att ligga nära underleverantörer - platsbestämning är i själva verket en mer komplicerad och nyanserad process.

9.3.2.2. Svagheter

Nackdelen med att arbeta med denna typ av modell, AHP och TOPSIS, är att det behövs mer indata och arbete med de matematiska metoderna för att säkerställa dess resultat. I detta fall gav företaget oss den datan direkt att kunna arbeta med, men en stor del av att hitta rätt plats är att hitta korrekt data från underleverantörer så att det blir en kvalitativ mätning mellan de olika platserna som testas. Om fel data matas in i modellerna så riskerar det att ge helt andra

svar, som kan göra att dyra företagsbeslut fattas utifrån felaktig information, något som såklart vill undvikas. För att undvika detta så krävs det noggranna och korrekta data med också förståelse för alla delarna av processen så att inga misstag görs i de praktiska räknedelen av modellerna. Modellen kräver också att en analys görs för att hitta eventuella platser som sedan ska testas med metoderna, detta då ingen konkret plats genereras av modellen. Det gör att processen blir tidskrävande, särskilt i jämförelse med COG-metoden som går snabbare att utföra och genererar en precis plats.

AHP ger även modellen en subjektiv del där de olika kriterierna vägs emot varandra, dock minimerar arbetet just subjektiviteten och etablerar ett mer precist resultat. Mer djupgående studier för varje specifikt företag och situation kan göras för att ytterligare öka tillförlitligheten i modellen – detta då varje situation är unik.

9.3.2.3. Möjligheter - Kombination av modeller

Ett sätt att använda sig av modellerna, som har identifierats under arbetet, är att kombinera dem. Detta kan göras på flera olika sätt men ett särskilt intressant tillvägagångssätt kan vara att först göra en COG för att hitta ungefär vilket område som ska undersökas och testas. Detta följs av att platser i närområdet väljs ut för test med hjälp av AHP och TOPSIS. För även om den faktiska plats som genererades med COG under testscenariot inte presterade bra i alla andra kategorier, så var det geografisk relativt nära den plats som bestämdes med hjälp av AHP och TOPSIS. Det gör att analysprocessen som arbetet utförde för att hitta de potentiella platserna troligen hade kunnat effektiviseras och göras bättre.

9.3.2.4. Hot/risker mot modellerna

Det finns alltid risker associerade med att förlita sig på modeller vid beslutsfattande. Det gör att en riskvärdering och rimlighetsbedömning av resultat kan göra modellerna mindre tillförlitliga i vissa fall, särskilt om fel och inkorrekt data har samlats. Omvärlden är också hela tiden i ständig förändring vilket gör att datan och informationen som samlades in igår kan bli irrelevant ganska snabbt, till exempel vid förändringar av geopolitiska skäl eller liknande.

En allt osäkrare framtid på grund av framfarten inom artificiell intelligens gör att bättre och snabbare modeller/tillvägagångssätt kan skapas. De nuvarande modellerna som arbetet har

utvärderat och testat kan vara utdaterade inom en snar framtid om stor teknisk utveckling inom detta område sker.

10. Slutsats

I detta kapitel presenteras slutsatser som arbetet drar utifrån syfte-, frågeställningar- och diskussionskapitel.

De viktigaste kriterierna vid bestämmande av lagerplacering, utifrån det testscenario arbetet har undersökt, är att minimera fraktkostnader, särskilt i form av minimering av fraktsträcka. Undersökningen visar också på hur vikt läggs vid att det ska finnas en acceptabel infrastruktur i form av vägar och elnät, som i detta arbete representeras utav 'närhet till logistikhub'. Mindre vikt läggs vid tillgång till förnyelsebar energi även om det fortfarande värderas, både när det gäller företags/intressenters egna miljömål samt EU:s krav på näringslivet. Minst vikt lades vid kostnaden för arbetskraft då det inte påverkar situationen tillräckligt mycket. Det kan finnas en anledning att studera det närmare då det kan ge information om andra dolda kostnader associerade vid byggnation och nyetablering på nya platser.

Under arbetets gång testades två matematiska metoder/modeller inom beslutslokalisering för scenariots ändamål. TOPSIS, AHP och COG har båda två fördelar och nackdelar. COG har ett enklare och snabbare tillvägagångssätt samtidigt som det erbjuder en konkret plats vid resultat. COG ger å andra sidan ett mindre nyanserat svar då det är svårt att implementera fler än två kriterier, något som sker på bekostnad av noggrannhet. AHP och TOPSIS har ett längre tillvägagångssätt där mer tid behöver allokeras för datainsamling och genomförande av metoderna. Resultatet blir å andra sidan mer exakt och trovärdigt, där fler kriterier kan tas i hänsyn till vid utförande.

Skillnaden i resultat mellan de två tillvägagångssätten var betydelsefull samtidigt som den var nära i avstånd. Nürnberg, som presenterades av AHP och TOPSIS, är relativt nära lokaliserat med resultatet som gavs av COG. Det gör att COG skulle kunna användas till lokalisering av potentiella platser som kan testas i en mer noggrann undersökning i form av AHP och TOPSIS. En kombination av metoderna/modellerna skulle därmed vara möjlig i denna situation för att öka effektiviteten och träffsäkerheten.

Båda metoderna är också känsliga för korrekta och tillförlitliga data. Vid den händelse att modellerna matas med inkorrekt data så kan marginella skillnader göra stor skillnad, särskilt i TOPSIS. När ideal och icke-ideala lösningar ska väljas för varje kriterie är det viktigt att rätt siffror väljs, vid felaktigt utförande riskerar modellerna att visa irrelevant information som kan missvisa bästa lokalisering av plats. Vid test av modellerna visades att små skillnader i in-data kan generera stora skillnader, något som förlänger processen att arbeta med modellen ytterligare.

10.1 Möjlighet till framtida forskning

Det finns en möjlighet att utveckla de två tillvägagångssätten som arbetet har undersökt och arbetat med. En kombination av de olika matematiska modellerna för att möjliggöra mer precis lokalisering av potentiella platser för test av TOPSIS är en möjlig väg framåt som hade kunnat undersökas mer.

En annan intressant aspekt kan vara hur dessa modeller kan användas i samband med Artificiell Intelligens som verktyg.

11. Referenslista

- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J. C. (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, 187(3).
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.022>
- CBS Statistics Netherlands. (2025, Mars). *Half of electricity is produced from renewable sources*.
cbs.nl
<https://www.cbs.nl/en-gb/news/2025/11/half-of-electricity-is-produced-from-renewable-sources>
- Ccatamayo-Barrios, J. H., Huamán-Romaní, Y. L., Seminario-Morales, M. V., Flores-Castillo, M. M., Gutiérrez-Gómez, E., Carrillo-De la cruz, L. K., & de la Cruz-Girón, K. A. (2023). Comparative Analysis of AHP and TOPSIS Multi-Criteria Decision-Making Methods for Mining Method Selection. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(5).
<https://doi.org/10.18280/mmep.100516>
- Chakraborty, S. (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Impact of Replenishment Policies on Safety Inventory. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*.
- Daudi, M., & Thoben, K. D. (2020). Self-organizing logistics networks for Less-Than-Truckload. *Procedia Manufacturing*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.019>
- DeJonckheere, M., & Vaughn, L. M. (2019). Semistructured interviewing in primary care research: A balance of relationship and rigour. *Family Medicine and Community Health*, 7(2). <https://doi.org/10.1136/fmch-2018-000057>
- Ember Energy. (2025, April). *Germany*. Ember-energy.org
<https://ember-energy.org/countries-and-regions/germany/>
- European Commission. (2021). Transport and the Green Deal.
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/transport-and-green-deal_en
- IEA. (2022). *Czechia*. Iea.org <https://www.iea.org/countries/czechia>
- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. K. (2016). Warehouse location selection by fuzzy multi-criteria decision making methodologies based on subjective and objective criteria. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 11(4).
<https://doi.org/10.1080/17509653.2015.1086964>

- Hy-Tek INTRALOGISTICS. Stewart, B. (2023). *The Most important Factors to Consider When Selecting a Warehouse Location*. hy-tek.com <https://hy-tek.com/resources/the-most-important-factors-to-consider-when-selecting-a-warehouse-location/>
- Ira Modifa Tarigan, Muhammad Ade Kurnia Harahap, Endang setyawati, Jimmy Moedjahedy, Ernie C Avila, & Rahim, R. (2023). A Multi-Criteria Decision-Making Approach for Warehouse Location Selection using TOPSIS. *JINAV: Journal of Information and Visualization*, 4(1). <https://doi.org/10.35877/454ri.jinav1616>
- Ivgin, M. (2013). The decision-making models for relief asset management and interaction with disaster mitigation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.08.005>
- Karim, R., & Karmaker, C. L. (2016). Machine Selection by AHP and TOPSIS Methods. *American Journal of Industrial Engineering*, Vol. 4, 2016, Pages 7-13, 4(1).
- Karmaker, C. L., & Saha, M. (2015). Optimization of warehouse location through fuzzy multi-criteria decision making methods. *Decision Science Letters*, 4(3). <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2015.4.005>
- Keshavarz-Ghorabae, M. (2021). Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective–objective decision-making approach. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98698-y>
- Mugoni, E., Kanyepe, J., & Tukuta, M. (2024). Sustainable Supply Chain Management Practices (SSCMPS) and environmental performance: A systematic review. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.stae.2023.100050>
- Nathan, S., Newman, C., & Lancaster, K. (2019). Qualitative interviewing. In *Handbook of Research Methods in Health Social Sciences*. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5251-4_77
- Olson, D. L. (2004). Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling*, 40(7–8). <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2004.10.003>
- Raut, V., Gardas, B. B., Raut, R. D., & Narkhede, B. E. (2017). Multi-criteria decision making approach: a sustainable warehouse location selection problem. *International Journal of Management Concepts and Philosophy*, 10(3). <https://doi.org/10.1504/ijmcp.2017.10006951>
- Rodrigue, J.-P. (2020). The Geography of Transport Systems. In *The Geography of Transport Systems*. <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, O. F., & Raj Mishra, A. (2023). Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean fuzzy-based decision-making approach. *Expert Systems with Applications*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118497>

- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. In *International Journal of Management Reviews* (Vol. 9, Issue 1).
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>
- Szczepański, E., Jachimowski, R., Izdebski, M., & Jacyna-Gółda, I. (2019). Warehouse location problem in supply chain designing: A simulation analysis. *Archives of Transport*, 50(2).
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.5752>
- Wang, Y. M., & Luo, Y. (2009). On rank reversal in decision analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(5–6). <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.06.019>
- XAI:s Grok 3. Bildgenerering av formler
- Yan, B., & Zhou, Y. (2020). Research on the layout of spare parts warehouse network based on wind power industry. *2020 Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling, APARM 2020*.
<https://doi.org/10.1109/APARM49247.2020.9209371>
- Zeng, T., Hu, D., & Huang, G. (2013). The Transportation Mode Distribution of Multimodal Transportation in Automotive Logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.048>
- Zhao, X. (2014). Based on gravity method of logistics distribution center location strategy research. *International Conference on Logistics, Engineering, Management and Computer Science, LEMCS 2014*. <https://doi.org/10.2991/lemcs-14.2014.134>



CHALMERS