KTH ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

Examensarbete inom Teknik

Grundnivå, 15 hp

Blockkedjeteknik för Aktieböcker: Ett Koncepttest

Blockchain Technology for Shareholder Registers: A Proof of Concept

EMIL BERGQVIST

OSCAR DANIELSSON

Stockholm, Sverige 2022

Blockkedjeteknik för aktieböcker: Ett Koncepttest

Emil Bergqvist, Oscar Danielsson

***Abstract*—Shareholder Registers provide vital information about ownership structures in corporations and are of interest for a diverse set of stakeholders such as the Swedish Companies Registration Office (and its international equivalences), stockholders, the SEC to name a few. Eventhough the information is public and the interest is high, transparency is limited. Blockchain technology offers a unique set of benefits that can help enhance transparency and security in shareholder registers. Therefore, this thesis aims to investigate how shareholder registers can benefit from blockchain technology by implementing a proof-of-concept and conducting a market analysis.**

The proof of concept consists of a small-scale implementation of a blockchain network with essential functionality meant to simulate a shareholder register. The market analysis was conducted through interviews with executives from several companies.

There is good reason to believe blockchain technology has a future in shareholder registers. The decentralied nature of blockchain implies that it can be leveraged to provide security and transparency benefits that contemporary alternatives cannot. The Proof of concept proves that it can be done conceptually and the market analysis shows that there is demand for it that has not been filled by other alternatives.

***Sammanfattning*—Aktieböcker lagrar viktig information som berör aktiebolags ägarstrukturer och är av intresse för flertalet intressenter som Bolagsverket, aktieägare och Finansinspektionen för att nämna ett fåtal. Trots att aktieboken är en allmän handling och att intresset för den är så stort präglas aktieböcker av låg transparens. Blockkedjeteknik erbjuder en uppsättning unika egenskaper som kan bidra med ökad transparens och säkerhet för aktieägare. Detta kandidatarbete ämnar därför att undersöka hur blockkedjeteknik kan bidra till att göra aktieböcker bättre i detta avseende genom att genomföra ett koncepttest samt en marknadsanalys. Koncepttestet består av en småskalig implementation av ett blockkedjenätverk med grundläggande funktionalitet menat att simulera en aktiebok. Marknadsanalysen består av intervjuer genomförda med chefer från flera olika aktiebolag. Det finns goda skäl att tro på att blockkedjeteknik har en framtid inom aktieböcker. Blockkedjeteknikens decentraliserade natur medför möjligheter att förbättra säkerhet och transparens hos dagens aktieböcker. Arbetets koncepttest visar att det kan göras rent konceptuellt medan marknadsanalysen visar att det finns en efterfrågan som inte fyllts av andra alternativ.**

***Index Terms*—Blockchain, Distributed Ledger, Proof of Concept, Shareholder Register.**

I. Introduktion

Även om blockkedjor är ett relativt nytt teknikområde har det implementerats flitigt inom den finansiella världen. Den första implementationen av tekniken utgjorde basen för kryptovalutan Bitcoin och naturligt nog kom efterföljande implementationer att beröra andra områden inom finans [1]. Idag används tekniken inom vitt spridda områden men varför det först fick fäste inom den finansiella världen kan med största sannolikhet härledas till smarta kontrakt. Ett smart kontrakt innebär kortfattat att ett kontrakt, oftast i form av överlåtande av ägarskap, skrivs i kod som är spårbar och oföränderlig. Kontraktet godkänns utan någon central auktoritet och exekveras när vissa förbestämda villkor uppfylls [2]. Med andra ord är blockkedjeteknik attraktivt inom finansiella applikationer som kräver transparens och säkerhet. Blockkedjans decentraliserade natur försvårar för manipulation av transaktioner.

En aktiebok är en offentlig handling som varje aktiebolag måste upprätta enligt lag (Se appendix A). Den är ett slags register som redogör för ägandestrukturen i ett bolag och måste genast uppdateras så fort ägarstrukturen ändras [3]. Aktieboken är intressant för flera aktörer, Bolagsverket använder den som underlag när till exempel straffansvar ska tillämpas enligt aktiebokslagen. Den är viktig för aktieägarna dels för att det är ett kvitto på hur stor andel av bolaget man äger, och dels för att den anger hur många rösträtter man har vid en bolagsstämma. Utöver detta kan det också finnas intresse hos aktieägarna med ökad transparens över ägandeskapet.

Mot denna bakgrund kan aktieboken ses som ett intressant användningsområde för blockkedjeteknik. Dels erbjuder det transparens genom att decentralisera registrering av ägarbyte, dels genom att göra datan mer tillgänglig genom att ha den på blockkedjan. Anställda avlastas dessutom från arbetet att behöva manuellt registrera ägarbyten.

A. Syfte och Mål

Uppdragsgivaren, Nebulr Group, ser en affärsmöjlighet i att erbjuda digitala aktieböcker på blockkedjan och vill därför att arbetet ska fungera som vägledning för en eventuell framtida tillämpning. Man är intresserade av att se om det är teknisk genomförbart genom ett koncepttest, men också hur potentiella kunder ställer sig till det, alltså, om det finns en marknad för konceptet.

Arbetet är därför tänkt att resultera i två leveranser. Först och främst, ett koncepttest med en aktiebok som lagras på en distribuerad blockkedja. Koncepttestet ska ha grundläggande funktioner, bland annat, ett användargränssnitt där ägarstrukturen tydligt redovisas samt erbjuda möjlighet att genomföra transaktioner. Den andra leveransen är själva rapporten. Där ska implementationen problematiseras och dess begränsningar diskuteras. Rapporten ska även innehålla en marknads- och kostnadsanalys som tillsammans med implementationen ska utgöra grunden för en rekommendation som tar ställning till huruvida konceptet ska tillämpas som faktisk produkt.

Det är önskvärt att arbetet mynnar ut i en rekommendation som tar ställning till om projektet ska implementeras eller ej, både för uppdragsgivaren och som ett forskningsresultat i sig. En metastudie på blockkedjeteknik har identifierat kommersiella applikationer, samt integration med fintech som två av de viktigaste forskningsområdena för blockkedjeteknik [1].

B. Samhällelig nytta

Under FNs utvecklingsmål lyder det åttonde målet, ”Decent work and economic growth”. Detta mål bryts sedan ner i delmål, ett av delmålen lyder: ”Achieve higher levels of economic productivity through diversification, technological upgrading and innovation, including through a focus on high-value added and labour-intensive sectors” [4]. Detta arbete har som avsikt att genom teknisk innovation inom finansiella tjänstesektorn bidra till detta delmål och på så sätt även bidra till FNs bredare utvecklingsmål. Arbetet undersöker om det är både tekniskt och ekonomiskt möjligt att lagra aktieböcker på blockkedjan. Skulle detta visa sig möjligt och implementeras på en större skala skulle det bidra till en större transparens på finansmarknaden. Transparens och tillit utgör bägge den grund som moderna marknadsekonomier vilar på. Genom ökad transparens kan länder som idag anses för riskfyllda för allokering av kapital, på sikt bli mer attraktiva för investerare.

C. Vetenskaplig Fråga

Den fråga som ska undersökas är “Är blockchain en användbar teknik för lagring av aktieböcker?”. Användbarheten är tänkt att utvärderas utifrån två perspektiv, ett marknadsmässigt och ett tekniskt. Det marknadsmässiga perspektivet har som avsikt att utvärdera hur stort det kommersiella intresset för denna teknik är. Vilket i sin tur kommer att avse allt från kostnader associerade med lagring på blockkedjan till hur stor efterfrågan för alternativa lagringsmetoder för aktieböcker är. Det tekniska perspektivet har som avsikt att avgöra om blockkedjeteknik kan användas för att lagra aktieböcker genom en implementering i form av ett koncepttest där möjligheter och begränsningar med tekniken diskuteras. Arbetet ska sedan resultera i en rekommendation, begrundad i dessa perspektiv, till uppdragsgivaren som tar ställning till om och i så fall hur en implementation skulle se ut.

Frågeställningen som presenteras är komplex i bemärkelsen att ordet användbar kan vara mångtydigt beroende på vilket perspektiv som avses. Blockkedjeteknik kan exempelvis visa sig vara användbart utifrån ett tekniskt perspektiv men oanvändbart då kostnaderna associerade med det överskrider nyttan. Vi avgränsar därför definitionen på användbar till just kommersiellt intresse och det tekniska perspektivet med målet att kunna redogöra för bägge och på så sätt nå fram till en slutsats kring hur användbar tekniken faktiskt är. Arbetet kommer vara tekniskt relevant då blockkedjeteknik visat sig kunna erbjuda en hög grad av decentralisering samt transparens. Både decentralisering och transparens är aspekter som anses som viktiga vid hantering av olika värdepapper. Det bör därför även finnas ett intresse för en mer transparent och decentraliserad hantering av aktieböcker. Blockkedjeteknikens fördelar överlappar bra med de behov som finns inom just hantering av värdepapper och hantering av aktieböcker i synnerhet.

En utmaning med att besvara frågeställningen är att jämföra ekonomiska och tekniska faktorer och hur de påverkar användbarheten utan att viktningen mellan dem framstår som subjektiv och omotiverad. Då ekonomiska och tekniska faktorer inte kan jämföras rakt av kommer det krävas mycket arbete för att nå en slutsats kring vad som påverkar användbarheten mer än något annat. Ett annat problem är hur både utvärderingar kommer behöva grundas i subjektiva bedömingar. Den tekniska utvärderingen kommer kvantifiera risk vilket öppnar för godtyckliga slutsatser och den marknadsmässiga kommer delvis grunda sig i potentiella kunders upplevda erfarenhet.

II. Teori

A. Publika kontra privata blockkedjor

Vid etablering av en blockkedja måste det bestämmas vilka som ska ha tillgång till den samt kunna göra ändringar. En privat blockkedja kräver tillstånd för att lagra och redigera data på blockkedjan. Transaktioner går generellt snabbare i privata blockkedjor då konsensusmekanismerna ofta förlitar sig på algoritmer. Till skillnad från en privat blockkedja, tillåter en offentlig blockkedja alla att göra ändringar. En offentlig blockkedja medför ökad decentralisering då nätverket av användare ofta blir större när alla tillåts medverka. Decentraliseringen är en av fördelarna med en offentlig blockkedja, då det medför ett skydd mot attacker. All information som lagras på offentliga blockkedjor är tillgänglig för allmänheten. Vilket kan begränsa användningsområden där konfidentiell data förekommer. De främsta parametrar som styr valet av blockkedjeteknik är säkerhet, sekretess och transaktionshastighet.

B. Tidigare Arbeten

Specifika tillämpningar av blockkedjeteknik på aktieböcker saknas, därför har arbetets vetenskapliga grund behandlat arbeten som ligger i anslutning till forskningsmorådet som blockkedjeteknik inom corporate governance, juridiska implikationer av smarta kontrakt. Metastudier som behandlar blockkedjeteknik övergripande har även använts för att få en överblick av forskningsområdet.

1) Blockchain inom Corporate Governance: Blockkedjeteknik inom corporate governance är ett relativt nytt forskningsområde där fokus mestadels legat på juridiska aspekter kring lagstiftning och initiativ. Det betonas att de olika implementationer man ser idag, till exempel Deutsche Börsches prototyp på ett elektroniskt röstsystem, är i en prototypfas [1]. Sett till de många initiativ och lagändringar som dykt upp på senare år finns det ett stort intresse för denna typ av teknik inom corporate governance från legislativt håll. De positiva aspekter som lyfts fram berör ökad transparens och effektivitet. Elektroniska röstsystem med blockkedjeteknik på bolagsstämmor skulle kunna

reducera strukturella ineffektiviteter som dagens system med intermediärer medför [5]. Blockkedjeteknik kan självklart breddas till annat än just elektroniska röstsystem. En metastudie inom området identifierar bokföring och datalagring som två av de områden som har störst potential att implementeras i en företagskontext. Bokföring och datalagring kommer också utgöra kärnan i detta arbete. Man betonar också att det är viktigt att mer forskning bedrivs kring hur blockkedjeteknik påverkar marknadseffektivitet och olika säkerhetsaspekter. En bransch nämns som ett specifikt intressant forskningsområde, fintech [1].
Trots de många initiativen som banar väg för tekniken finns det flera legala frågetecken som behöver benas ut. Till exempel, ska det som registreras på en ledger tolkas som juridiskt bindande? Om så är fallet, skulle ägarskap kunna överföras helt legalt av illvilliga aktörer som utnyttjar brister i tekniken. Om det inte är juridiskt bindande hur avgör man vilka som är faktiska innehavare? I dagsläget finns få vägledande domar som kan ge en fingervisning för hur det ska behandlas [6]. Säkert däremot är att denna juridiska gråzon innebär en risk, både för aktieägare men också för de som levererar mjukvaran och är något som arbetet behöver estimera och ta ställning till.

C. Hyperledger och Hyperledger Fabric

Hyperledger är ett ramverk byggt på öppen källkod för utveckling av kommersiella blockkedjeapplikationer. Hyperledger Fabric, som är sprunget ur Hyperledger, är en modulär plattform för decentralized ledger technology (DLT) [7]. Plattformen är utvecklad i enterprise-syfte och innefattar en mångfald av funktioner som är lämpliga för företag. Till exempel finns avancerade inställningar för synlighet av data, vilket beskrivs mer utförligt i avsnittet om Organisationer, kanaler och peers. Hyperledgers blockkedjeteknik är permissioned, vilket innebär att de parter som interagerar med blockkedjan måste vara identifierade och godkända av nätverket.

1) Konsensusmekanism: Hyperledger skiljer sig från andra distribuerade blockkedjor på så sätt att konsensusmekanismen är deterministisk. Där Bitcoin och Ethereum använder longest-chain-rule för att probabilistiskt avgöra vilken ledger är den korrekta använder Hyperledger en ordering-service för att distribuera samma ledger till alla noder [8]. Hur en ordering-service interagerar med nätverket beskrivs mer utförligt i sektionen om transaktionsflöden.

2) Transaktionsflöde: När en klient vill genomföra en transaktion görs det genom ett av Hyperledger bestämt kommunikationsprotokoll. Klienten som vill genomföra en transaktion skickar först ut ett förslag (proposal) till de noder som berörs. Vilka noder som berörs beror på hur nätverkets endorsement policy är specificerad. Mer konkret är förslaget en förfrågan om att få exekvera chaincode med vissa parametrar. Mottagarna verifierar förslaget genom att kolla på förslagets signatur, mer specifikt om den förfrågande parten har tillgång till resursen och om klienten tillåts överföra den.

De parter som har mottagit förslaget, ofta benämnda som endorsers, exekverar den chaincode som levererades av förslaget, förutsatt att den blev godkänd, och skickar sedan en response till den klient som gjorde förfrågan.
Den förfrågande klienten inspekterar sedan alla responses, kollar att de är identiska och skickar till ordering service. Ordering service sambinder ett antal transaktioner i ett block och bestämmer vilken ordning de bör komma i. Alla peers tar sedan emot ett block där transaktionen ingår. Eftersom ordering service och den förfrågande klienten inte nödvändigtvis behöver kontrollera om transaktionen är accepterad görs detta en sista gång av alla peers som väljer att förkasta transaktionen om så inte är fallet [9].

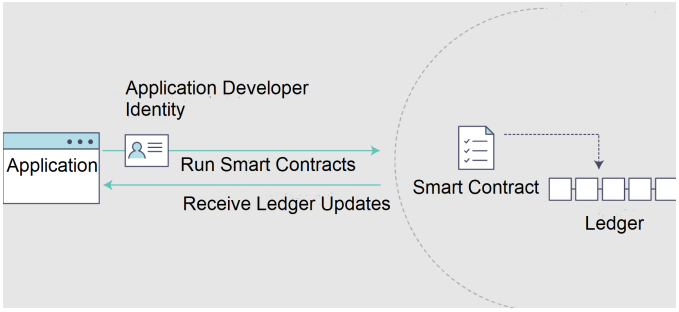

Fig. 1. Vissualisering av transaktionsflödet [10] under CC BY 4.0

3) Blocks, Ledgers och Chaincode: En ledger, ibland benämnd huvudbok på svenska, är en redovisningsteknisk term som syftar på den bok som transaktioner och kontobalanser bokförs i för en given period [11]. Inom Hyperledger innehåller en ledger två komponenter. En world state, som likt ett bankkonto visar nuvarande balans för alla wallets. Den andra komponenten är själva blockkedjan. Blockkedjan är den komponent som påminner mest om huvudboken. Den är en slags transaktionslogg som visar alla historiska överföringar av tillgångar. Transaktionerna samlas i olika blocks som tillsammans länkas till en blockkedja.
Varje enskilt block består i sig av tre komponenter: En header, blockdata samt metadata. Headern innehåller tre fält: numret för nuvarande block, det hashade värdet för datan i nuvarande block samt det hashade värdet för headern i föregående block. Datafältet innehåller det som ledgern är tänk att spara, företrädesvis transaktioner. Hur många transaktioner som ett block bör innehålla är en avvägning mellan hastighet och kostnad och beror även på efterfrågan att genomföra transaktioner. Ett block är lika resurskrävande att länka till kedjan oavsett antal transaktioner, men antalet transaktioner per block går att styra genom två parametrar: Maximal blockstorlek, som anger en övre gräns för hur mycket data som får lagras i ett block, samt blocktid. Blocktid är ett fixt intervall som anger tiden mellan det att två blocks länkas till kedjan. Transaktionerna innehåller, förutom detaljer om själva transaktionen, metadata som berör de involverade parterna. Bland det mest centrala återfinns en digital kryptografisk signatur från klienten, en proposal, response samt endorsements. Blockets metadata innehåller certifikat och signatur från blockets skapare [12].

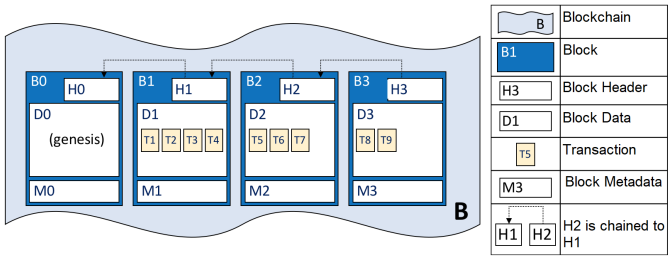

Fig. 2. En generisk ledger [12] under CC BY 4.0

Chaincode är en körbar fil som implementerar logiken som krävs för smarta kontrakt. När en transaktion genomförs exekveras chaincode med relevant indata för att ledgern ska återspegla detta. Förhållandet mellan ledgers och chaincode är en-till-en [13].

4) Organisationer, Kanaler och Noder: Den mest fundamentala komponenten i ett nätverk är noden. Noderna ansvarar för ledgers och smarta kontrakt. I ett nätverk sparar varje nod en instans av ledgern. Denna redundans är högst avsiktlig och är en av blockkedjeteknikens viktigaste funktioner. I praktiken innebär det att det inte finns en enskild angreppspunkt vilket försvårar för illvilliga aktörer att göra illegitima ändringar. När en transaktion ska genomföras är alla noder involverade på något sätt. Om noden är med som endorser måste den granska proposals och skicka responses. Utöver detta tar noden emot blocks från ordering service och verifierar dessa innan de skrivs till ledgern. Noderna har en av tre följande roller: Klient, Peer, Orderer. Klientnodens syfte är att ge användare åtkomst till blockkedjan och är den enda typ som kan utföra transaktioner. Peer-noder underhåller och verifierar ledgern och kan även uppta rollen som endorser. Orderer, eller ordering-service förbinder alla transaktioner och sorterar dem i blocks som sedan levereras till peer-nodes [14]. Orderer-noden ansvarar med andra ord för hur ledgern ser ut.

Alla transaktioner som sker på ett nätverk är synliga för alla i och med att varje nod sparar en instans av ledgern. I en företagskontext är detta inte alltid önskvärt. Det finns data som endast ska vara synlig för några få förbestämda användare vilket är varför Hyperledger tillämpar organisationer och kanaler på ett nätverk. En kanal kan ses som en delmängd av ett nätverk. Likt ett nätverk består en kanal av noder. Den ledger som sparas på noderna finns endast på de noder som ingår i kanalen. För att kunna interagera med noderna på kanalen måste det ske via andra noder på samma kanal. En organisation är en entitet som äger en eller flera noder och har tillgång till kanaler genom just noderna [14].

5) Certificate Authorities: Hyperledger är permissioned och kräver således att varje peer som interagerar med nätverket är verifierat. Detta görs med hjälp av en Public Key Infrastructure (PKI) där nycklarna verifieras av en Certificate Authority (CA). Ett centralt koncept för verifieringen är Membership Service Providers (MSP) som existerar både lokalt för enskilda noder (Local MSP) och för hela kanaler (Channel MSP). En MSPs uppgift är att kontrollera signering genom att verifiera att nycklarna kommer från en godkänd CA.
Den lokala versionen används för att verifiera användare och ge åtkomst till noder likt hur en inloggningsproccess fungerar för ett konto, till exempel ett bankkonto. På kanalnivå används den för att bestämma vilka befogenheter noderna har, till exempel om en nod har åtkomst till kanalen, vilken organisation noden tillhör och vilken roll noden har i nätverket [15].

D. Wallets och Medlemskap

Varje klient som är tänkt att interagera med nätverket behöver en wallet för att identifiera sig. En wallet innehåller den signatur som beskrevs i avsnittet om Certificate Authorities och är därför viktig för att bestämma vilka befogenheter en användare har. Varje Wallet kan kopplas till flera olika CA men brukar de-facto tillhöra en specifik användare även om det är möjligt att använda en wallet för en hel organisation. Det finns ingen särskild begränsning för antalet identiteter som kan sparas i en Wallet [16].

Vad gäller lagring finns det tre tillvägagångsmöjligheter för Wallets. Antingen sparas de i ett vanligt filsystem, tillfälligt i minnet, eller i en databas med hjälp av CouchDB som bygger på NoSQL [16].

E. Koncepttest

Ett koncepttest, även kallat Proof of Concept är en presentation av en föreslagen produkt och dess potentiella genomförbarhet. Till skillnad från en prototyp, som är tänkt att vara ett första utkast för en produkt, är ett koncepttest tänkt att vara beslutsunderlag för om en produkt ska implementeras. Den bör innehålla en grundläggande implementation som visar huruvida produktidéen är tekniskt genomförbar men ska inte vara en faktisk produkt. Tanken är att, så tidigt som möjligt, identifiera möjligheter och problem som kan dyka upp i senare skeden och lägga fram en plan för hur de ska tacklas och hur en uppskalning skulle se ut. Den kan även innehålla en utvärdering av den kommersiella gångbarheten i form av kostnads- och eller marknadsanalys [17].

F. Aktiebok

Varje aktiebolag är skyldigt att föra en aktiebok enligt aktiebolagslagen. Aktieboken fungerar som register över ett bolags ägarstruktur och ska innehålla information om vem som äger varje aktie. Den fyller två huvudsakliga syften, att ligga till grund för aktieägarnas utövande av rättigheter samt som underlag för ägarförhållanden. Aktieboken är en offentlig handling och ska vara tillgänglig vid förfrågan. Aktiebolagslagen säger följande om innehållet:

”5 § I ett bolag som inte är avstämningsbolag skall aktieboken innehålla uppgift om

1) varje akties nummer,
2) aktieägarnas namn och personnummer, organisationsnummer eller annat identifieringsnummer samt postadress,
3) vilket slag varje aktie tillhör, om det finns aktier av olika slag i bolaget,
4) huruvida aktiebrev har utfärdats, och
5) i förekommande fall, att aktien omfattas av förbehåll enligt 4 kap. 6, 8, 18 eller 27 § eller 20 kap. 31 §.” [3]

När något av ovanstående ändrats, till exempel genom överförande av ägarskap är det upp till ansvarig (styrelsen är ytterst ansvarig) att så snart som möjligt uppdatera aktieboken.

III. Metoder

A. Val av Blockkedjeteknik

Den blockkedjeteknik som valdes för genomförandet av koncepttetet blev Hyperledger Fabric som erbjuder ett privat blockkedjenätverk. I enterprise-syften används generellt privata blockkedjor på grund av snabbare transaktionshastigheter och enklare konsensusmetoder. Den främsta anledningen till valet av Hyperledger Fabric är dess konsensusmekanism som skiljer sig nämnvärt från de resurskrävande och ofta kostsamma konsensusmekanismer som publika blockkedjor präglas av.

Att privata blockkedjor är mer centraliserade upplevs inte som ett problem för tillämpningen. Snarare finns det ett behov att reglera och kontrollera parametrar som till exempel vilka som får göra transaktioner och vem som kan motta tillgångar. Aktieägaravtal kan innehålla komplexa bestämmelser som till exempel drag-along klausuler som tvingar andra aktieägare att sälja när en ägare gör det och om dessa går att tillämpa på en publik blockkedja är tveksamt. Hyperledger Fabric erbjuder goda anpassningmöjligheter genom en konsensusmekanism som kan bestämmas för enskilda organisationer. I övrigt finns också möjlighet att dölja information så att den bara är synlig på enskilda kanaler i.e. för enskilda bolag.

B. Hyperledger Fabric

1) Hyperledger Testnätverk och SDK: I implementationen används Hyperledgers testnätverk som erbjuder en rudimentär nätverksstruktur bestående av två organisationer med två tillhörande noder samt en ordering organization med orderer peer. Den endorsement policy som medföljer kräver att den förfrågande organisationen godkänner transaktionerna.

För att interagera med nätverket används Hyperledger Software Development Kit (SDK) som erbjuder en high-level API för NodeJS. Nedan följer några för projektet viktiga klasser, gränssnitt, moduler och komponenter som härrör från Hyperledger SDK och används i implementationen.

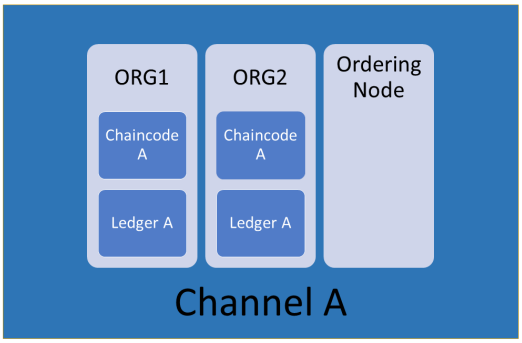

Fig. 3. Testnätverketets nätverksstruktur.

2) Gateway: Gateway-klassen erbjuder en anslutningspunkt till nätverket och individuella kanaler på nätverket. Implementationen använder en gateway för varje session som skapas vid inloggning och associeras med en kaka. Den kopplas sedan ifrån vid utloggning.

3) Connection Profile: Implementationen använder två Connection Profiles, en för varje organisation. En connection profile innehåller information om nätverksstrukturen och används för att konfigurera den ovan beskrivna gateway som används för att interagera med nätverket.

4) Wallet: Implementationen använder två wallets som kopplas till respektive organisation. För enkelhetens skull finns endast en identitet för varje organisation vilket innebär att applikationen endast kan ha två aktiva användare för en given tidpunkt. Lagringen sker i filsystemet, inte på användarens sida, utan på serversidan och ges åtkomst till via inloggning på webbapplikationen med ett användarnamn och gränssnitt som kopplas till en identitet för varje wallet.

5) Contract: Contract är ett gränssnitt (Interface) som ger tillgång till Chaincode för en peer. Gränssnittet används för att skicka transaktioner, läsa tillgångar och andra operationer som går att utföra på blockkedjan. Contract hämtas från en Gateway och är således kopplad till en Connection Profile, Wallet och identitet.

6) Administratör: Utöver de två användarna finns även en administratör. Till skillnad från användarna har administratören inte tillgång till nätverket genom användargränssnittet. Administratörens operationer sköts från en CLI och genom enskilda Javascript-filer på serversidan och innefattar att skapa användare, kanaler, tillgångar, Certificate Authorities och att bestämma befogenheter för noder.

C. Användargränssnitt och Applikation

Arkitekturen för webbapplikationen följer Klient-server-modellen där serversidan körs med hjälp av exekveringsmiljön NodeJS. Användargränssnittet är skrivet

i HTML och JavaScript på ramverket Vue med JavaScript-biblioteket Socket.io som uppdaterar på klientsidan i realtid. Applikationen är skriven som Single-page-application (SPA) som uppdaterar HTML dynamiskt så att applikationen körs med en enda sidladdning.

1) Model-view-controller: Applikationen är konstruerad enligt designmöstret Model-view-controller. Modellen utgörs av lokala asset-objekt som skapas med hjälp av API-anrop till blockkedjan. API-anropen utgör controller delen, samtliga förändringar på blockkedjan måste ske via API-anrop samt återspeglas i modellen. I modellen representeras enskilda assets som JSON-objekt med attributen (CompanyName, ID, Owner, Date, Note). View-komponenten i designmöstret utgörs av ett antal Vue-filer som hanterar all funktionalitet som klienten ser. Vue förenklar integrering mellan JavaScript-kod och HTML-element samt överföring av information i form av GET och POST requests.

D. Analys

För att värdera produktens potential gjordes två analyser, en teknisk och en marknadsinriktad. Den tekniska bedömningen sker i två steg. Först en avstämning mot en kravspecifikation följt av en kvalitativ bedömning vad avser säkerhet, uppskalningsmöjligheter och generella begränsningar. Marknadsanalysen utgår från intervjuer med utvalda företag.

1) Teknisk Analys: En enkel kravspecifikation togs fram i ett tidigt skede för att vägleda implementationen, den lyder följande:

1) Aktieägare ska ha möjlighet att se sina innehav.
2) Det ska vara möjligt att överföra sina egna innehav.
3) Det ska finnas en överblicklig bild av bolagets ägarstruktur som visar varje enskild ägares innehav och röster.
4) Det ska gå att följa varje akties transaktionshistorik.

För den kvalitativa analysdelen samlades information under arbetets gång. Diskussioner hölls regelbundet mellan uppdragsgivaren och rapportförfattarna och berörde ämnen som nätverksarkitektur och utformning av smarta kontrakt. När koncepttestet var färdigställt gjordes en grundlig genomgång av alla komponenter för att undersöka begränsningar och uppskalningsmöjligheter.

2) Marknadsanalys: Intervjuer gjordes med tre utvalda företag. Intervjuobjekten, som var tänkta att fylla den potentiella marknadsnischen, valdes i samråd med representanter från Nebulr Group. Intervjuerna skedde över Zoom och berörde två teman. Först ställdes frågor kring hur processen att föra aktiebok såg ut i dagsläget, vilka kostnader det medförde och om de upplevde några begränsningar med dagens system. Den andra delen berörde berörde konceptets värdeerbjudande. Innan frågorna för andra delen ställdes presenterades en kort genomgång av konceptet som förklarade fördelarna med den potentiella produkten. Frågorna som ställdes finns bifogade (Se appendix B)

IV. Resultat

A. Koncepttest

Koncepttestet har resulterat i en applikation utformad som en single-page- application (SPA). Applikationen består av tre sidor, en inloggningsida, en sida med ägarstruktur och en personlig sida. Inloggningsidan begränsar åtkomsten till övriga sidor, enbart autentiserade användare tillåts åtkomst till de andra sidorna. Ägarstruktursidan visar bolagets totala antal aktier, samt ägarnas ägarandelar i procent. Här listas även transaktionshistoriken för samtliga aktier i bolaget. Den personliga sidan visar den aktuella användarens aktieinnehav med möjligheten att föra över varje enskild aktie till den andra användaren.

1) My Assets: Sidan My Assets listar alla aktier tillhörande den aktuella användaren samt ger användaren möjligheten att överföra aktier till den andra användaren. Samtliga aktier representeras som enskilda asset-objekt i modellen. Vid en transaktion uppdateras attributen ägare och datum både i modellen och i blockkedjan. Säkerheten vid transaktioner fastställs dels genom att se till att den aktuella ägaren äger aktien i modellen och dels genom att genomföra transaktionen på blockkedjan och invänta resultatet. Den aktuella användaren kan aldrig överföra den andra ägarens tillgångar vilket medför ytterligare försäkring om att rätt användare hanterar rätt tillgångar. Först när transaktionen bekräftats som genomförd på blockkedjan uppdateras modellen med samma information. Genom att uppdatera modellen efter kan skillnader mellan blockkedjans information och modellen uteslutas.

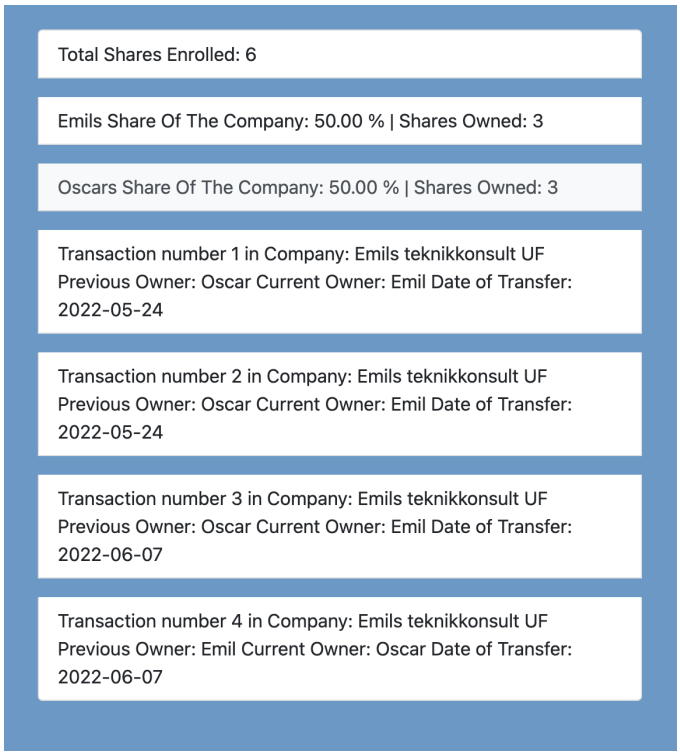

Fig. 4. Visualisering av My Assets-sidan

2) Ownership: Sidan Ownership visar samtliga aktier i bolaget och hur stor del av aktierna som ägs av respektive användare. Ägandet representeras både i absoluta tal och procent. Ägandeskap av aktierna fastställs genom metodanrop till modellen, att avstämma med modellen ger samma resultat som att göra ett API-anrop till blockkedjan då de uppdateras på samma sätt. Själva ägandedelen räknas ut på serversidan genom metodanrop till modellen. Transaktionshistoriken visas även på denna sida. Transaktionshsitoriken fås via förfrågan till en databas. Samtliga transaktioner lagras i en databas efter att transaktionerna genomförts.

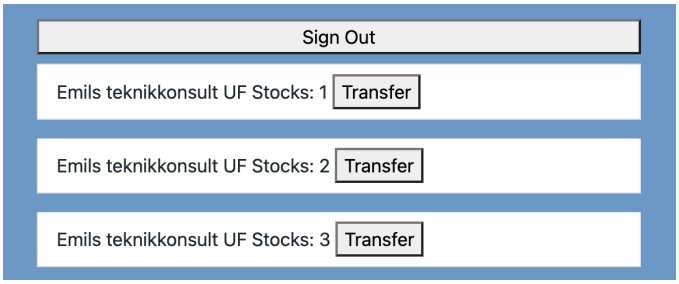

Fig. 5. Visualisering av Ownership-sidan

3) Login: Loginsidan kontrollerar att de användaruppgifter som angivits också finns sparade i databasen. Databasen innehåller i sin tur enbart användaruppgifter till användare vars användaruppgifter också är kopplade till en organisation på nätverket. Samtliga kännsliga användaruppgifter som lösenord lagras krypterat i databasen. Loginsidan medför att enbart användare registrerade i blockkedjenätverket kan använda applikationen. Vid lyckad inloggning skapas en Gateway som sedan används för att utföra API-anrop till blockkedjan.

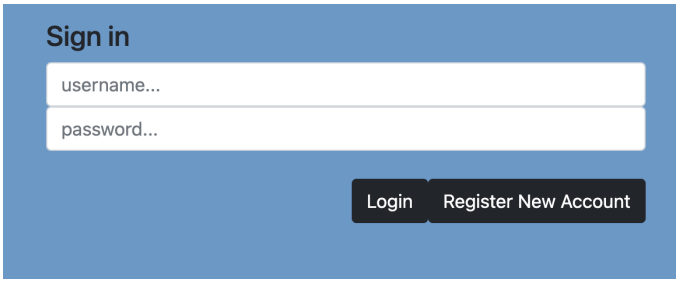

Fig. 6. Visualisering av Login-sidan.

B. Marknadsanalys

Marknadsanalysen gjordes utifrån tre intervjuer med tre representanter, alla ifrån olika bolag. Resultatet presenteras utifrån de två faser som redogjordes för i metod-delen samt en kort beskrivning av företagen och dess representanter i sig.

1) Företag och Intervjuobjekt: Gemensamt för alla personer som intervjuades var att de ansvarade för aktieboken, i vissa fall var det dem själva som uppdaterade, i andra fall var det dem som skötte kommunikationen med den part som uppdaterade. Samtliga var verkställande direktörer på de bolag som representerades och hade omfattande erfarenhet av att driva och bygga bolag.

Bolagen varierade i storlek, mellan 8 och 150 aktieägare, samtliga onoterade. Alla bolag hade genomfört emissioner och antalet gånger aktieboken behövde uppdateras varierade mellan 3-10 gånger per år. I alla fall hade jurister involverats för att skriva aktieägaravtalen. Ett av intervjuobjekten betonade att ett vattentätt aktieägaravtal var av stor betydelse och hänvisade till konflikter bland aktieägare på grund av att ha använt mallar i tidigare bolag.

2) Process: Processen att föra aktiebok såg olika ut för varje företag och involverade externa aktörer i olika omfattning. Den mest basala tillämpningen innebar att VD själv lagrade och uppdaterade aktieboken i ett excel-dokument. Ett av bolagen gjorde det i dagsläget men alla tre hade, under någon period i bolagens historia, skött det på samma sätt. Denna process upplevdes som tillfredsställande när den ansvariga personen var väl insatt i vad som krävdes av bolagsverket och när frekvensen av uppdateringarna inte var särskilt hög. I takt med att frekvensen ökade, och när klausuler i aktieägaravtalen aktiverades, blev det allt svårare och mer tidskrävande. Det upplevdes som svårt att hålla aktieboken uppdaterad och att kommunicera olika krav och rättigheter från aktieägaravtalet som till exempel tag-along. Som lösning på problemet har ett av företagen överlämnat aktieboken till en bolagsjurist. Att låta jurister sköta aktieboken upplevs som säkert och framförallt befriande då ansvaret överläggs på annan part. De negativa aspekter som lyfts fram är främst att det är kostsamt då timpenningen kan uppgå till 4000kr per timme. Ägarstrukturen är också svåröverskådlig i det format som bolagsjuristen förvarar aktieboken. Slutligen så innebar flytten inte nödvändigtvis att det administrativa arbetet minskade nämnvärt, alla ändringar behövde kommuniceras med bolagsjuristen. Det tredje alternativet, som användes av bolaget med flest aktieägare, var att ansluta till en värdepapperscentral, Euroclear. Den intervjuade var negativt inställd till Euroclear och lyfte att bolaget var anslutet eftersom de inte kunde genomföra en emission annars. Den kritik som lyftes hade främst med den komplicerade strukturen på tjänsten att göra. Som onoterat bolag måste ändringar i aktieboken kommuniceras till Euroclear. Aktieboken släpps med jämna mellanrum men är avgiftsbelagd om den ska hämtas ut. Kostnadsmodellen är komplicerad och tjänsten är framförallt dyr med en anslutningsavgift på 20000kr. Euroclear tar heller inget ansvar för att det som registreras är korrekt, utan det faller på den från bolagets sida som rapporterar till Euroclear. När den intervjuade blir frågad om när det går att rättfärdiga en anslutning till en värdepapperscentral blir svaret att det för ett onoterat bolag beror på arbetsbördan men att det inte går att rättfärdiga när antalet aktieägare är färre än 10.

3) Värdeerbjudande: Inställningen till den blockkedjebaserade aktieboken var generellt positiv. Framförallt är det det administrativ avlastning och säkerhetsaspekten som lockar. Vad gäller transparens ses det generellt som positivt men absolut inte avgörande. Vissa bolag har en någorlunda uppdaterad och lättåkomlig struktur via hemsidor som verksamt.se och det anses fullt dugligt. Andra anser att transparens kan medföra problem. Ett exempel som ges är att det kan uppstå konflikter bland anställda om det tydligt framgår att vissa har fått större aktieoptioner än andra. Dock påpekas det att konflikter uppstått även utan den transparens som en blockkedjebaserad aktiebok skulle medföra eftersom aktieboken ändå är en publik handling, om än krånglig att få åtkomst till. Det största frågetecknet som lyfts är hur den omfattande logiken bakom aktiesplittar, nyemissioner och klausuler i aktieägaravtalet ska implementeras och om det kan göras på ett användarvänligt sätt. Det påpekas att om produkten inte är ämnad att konkurrera med Euroclear blir produkten mindre attraktiv ju fler aktieägare som finns. Detta eftersom att en anslutning tillslut blir oundviklig. På samma sätt är erbjudandet inte attraktivt i bolag med endast en handfull aktieägare och där ägarstrukturen förblir konstant. Vad gäller prissättning upplever ingen av de intervjuade att de är särskilt priskänsliga eftersom alternativen, bortsett från att sköta det in-house, är kostsamma som det är.

V. Diskussion

A. Teknisk analys

Kravspecifikationen kan anses uppnådd. Krav 1 och 2 uppfylls genom My Assets som ger möjlighet att både se och flytta innehav. Sidan Ownership motsvarar krav 3 och 4. Ownership-sidan visar ägarstrukturen tydligt, både totalt antal aktier, procentuella andelar för varje enskild ägare, samt transaktionshistoriken. Vad gäller rösträtt får kravet anses delvist uppfyllt. Eftersom aktierna inte har olika röstvärden ger den procentuella ägarandelen också röster i procent. Däremot finns ingen funktionalitet för aktier med olika röstvärde.

1) Val av Nätverk: Valet att använda Hyperledger Frabric som blockkedjenätverk får anses som lyckat. Samtliga krav i kravspecifikationen uppfylldes med hjälp av Hyperledger. Även om det finns vissa brister i Hyperledgers SDK anses valet som lyckat, speciellt när tillkortakommanden hos övriga tillhandahållare av blockedjenätverk avses.

2) Nätverksstruktur: Nätverksstrukturen där företag representeras i kanaler och aktieägare som organisationer får ses som den optimala ur ett funktionellt perspektiv. Eftersom endorsement policy bestäms på organisationsbasis ger det möjlighet att konfigurera smarta kontrakt efter klausuler i aktieägaravtalet. Till exempel, om en klausul hindrar en anställd från att sälja sina aktier inom en viss period kan en endorsement policy som, för just den anställda personen, kräver godkännande från en annan organisation eller administratör hindra att aktieägaravtalet bryts. På liknande sätt kan försäljning av aktier till obehöriga förhindras genom att administratörer bestämmer vilka organisationer som tillåts på en kanal. Bevisligen går detta att konstruera på implementationens back-end utanför blockkedjenätverket men det finns goda säkerhetsskäl att utnyttja Hyperledgers redan existerande infrastruktur för detta. Exempelvis medför en back-end lösning ökad komplexitet som kan resultera i buggar vilket kan utnyttjas av illvilliga aktörer.
Nackdelen med ovannämnda struktur är att kostnaden för hosting ökar nämnvärt när antalet organisationer gör det. Amazon Web Services har en prissättningsmodell där kostnaden, till största del, beror på antalet noder och organisationer. En organisation, med tillhörande nod, har en timkostnad på $1,07 samtidigt som kostnaden för dataanvändningen endast uppgår till en bråkdel av den för varje nod (se appendix C). Problemet ligger i att varje organisation måste ha en nod som sparar en instans av ledgern och därmed ökar det efterfrågade lagringsutrymmet med varje ny organisation nämnvärt. Ett uppenbart alternativ är därför att kringgå principen om att varje aktieägare ska utgöra en egen organisation och istället ha ett kluster med aktieägare som ansluter till samma nod. Problemet med ett sådant tillvägagångssätt är att fördelarna med att ha en endorsement policy som kan bestämmas för enskilda aktieägare uteblir.

3) Hosting: Vad gäller hosting av blockkedjenätverket finns två alternativ. Antingen använder man befintliga infrastrukturtjänster såsom Amazon Managed Blockchain, hädanefter AMB, eller väljer att hosta själv på till exempel en Ubuntu-Server. AMB reducerar komplexiteten i nätverket genom enkel registrering av organisationer, noder och kanaler genom Amazon Management Console. Här erbjuds också monitoring på CloudWatch som ger en överblick och status på alla komponenter. Hosting för alla noder sker på separata datorer på Amazons serversida genom Amazon Elastic Compute Cloud. På en Ubuntu-server krävs att samtliga komponenter i nätverksstrukturen konfigureras manuellt samt att de konfigureras på ett sådant sätt att nätverket är skalbart. Detta medför ökad komplexitet och ett behov av kompetenta utvecklare specialiserade på Hyperledger Fabric men skapar också stora möjligheter då det medför en ökad frihet jämfört med ett nätverk som hostas av AMB. Kostnaden för hosting på en Ubuntu-server lär vara betydligt lägre, speciellt om man väljer att låta alla klienter lagra sina instanser av ledgern. Samma möjlighet finns inte för AMB där hostingen alltid måste ske via Amazon Elastic Compute Cloud. Att låta ledgers lagras på separata privata datorer snarare än på ett enskilt bolags hemsida kan också argumenteras för att vara en mer decentraliserad lösning. Däremot medför detta tillvägagångssätt ökad komplexitet vilket kan resultera i reducerad upptid gentemot AMB.

Det främsta argumentet mot att använda AMB är kostnaden. Prissättningsmodellen gynnar nätverk med få organisationer men många transaktioner, vår föreslagna infrastruktur gör det motsatta (se appendix C). Notera att lagringskostnaden är nästintill noll medan medlemskapen kostar förhållandevis mycket.

4) Uppskalning: Under intervjuprocessen framkom önskemål om att implementera chaincode som kan fylla den roll som ett aktieägaravtal gör idag. Aktieägaravtalet specificerar bland annat under vilka villkor en ägare får sälja och de som har förtur att köpa dessa aktier vid en försäljning. Dessa klausuler kan skilja sig nämnvärt från företag till företag och kan medföra problem vid en implementation på grund av graden av anpassning som måste göras för enskilda företag. Tillfrågade menade även att det finns en trygghet i att jurister hanterar aktieägaravtalen då de vet vad som är juridiskt bindande och inte, vilket tyder på ett begränsat kommersiellt intresse för en integrering av aktieägaravtalet.

Möjligheten att integrera funktionalitet som möjliggör emissioner och splittar var även något som diskuterades under intervjuerna. Det förstnämnda får anses som ett basalt behov och allt tyder på att det finns stöd för sådan funktionalitet i Hyperledger SDK. Det bestämdes dock att lämna just denna funktionalitet utanför omfattningen av koncepttestet.

Vid uppskalning kommer även nätverket att behöva anpassas för att möjligöra för fler organisationer. Det testnätverk som etablerades under koncepttestet möjliggör enbart för två organisationer att vara verksamma på nätverket samtidigt. Certificate Authority (CA) kommer behöva konfigureras för alla unika företag och aktieägare. Det rekommenderas att ha en CA per organisation för registreringsändamål, vilket är ytterligare en anpassning som kommer behöva avses vid en uppskalning [18].

B. Marknadspotential

Genomgående för alla intervjuer var ett engagemang och genuin tro på teknikens potential för aktieböcker. Det finns definitivt en efterfrågan på nya lösningar som förenklar och förbättrar aktieboken. Blockkedjelösningen verkar ha störst potential bland mindre företag som expanderar och där det finns en viss ruljans bland aktieägare. När antalet aktieägare växer och antalet transaktioner ökar blir alternativ som Euroclear mer attraktiva. För noterade bolag är Euroclear i dagsläget ett måste då det krävs ett avtal med en värdepapperscentral för att få noteras på börsen. Det faktum att Euroclear är ensam på denna marknad tyder på att det finns höga inträdesbariärer. Det anses därför orealistiskt att kunna erbjuda denna tjänst som en konkurrent, vilket begränsar marknadspotentialen till onoterade bolag.

C. Begränsningar

1) Hyperledger Test Network: Det av Hyperledger Foundation erbjudna testnätverk är något begränsat eftersom nätverksarkitekturen med tillhörande endorsement policy är fastställt sedan innan. Uppdragsgivaren hade önskat att en tredje administrativ organisation skulle godkänna transaktioner men eftersom testnätverket endast tillåter två organisationer gick funktionen inte att testa. Dessutom var tillämpningen fastlåst i en endorsement policy som endast kräver att organisationen är medlem på kanalen för att göra ändringar. Den endorsement policy som var uttänkt för projektet skulle kräva att ägaren av en asset samt den som mottar den vid en överföring godkänner transaktionen. Detta löstes istället genom att bygga en middleware på serverns API som kräver att den användare som försöker göra ändringar på en asset också är ägare till den.

I resultatet presenteras att ägandeskap fastställs genom en kontroll mot den lokala modellen där samtliga aktier är representerade som asset-objekt. Detta genomfördes på grund av begränsningar i Hyperledger SDK och i synnerhet en begränsad åtkomst till ledgern som sparar samtliga transaktioner. Det togs även hänsyn till användarupplevlesen då API-anrop till blockkedjan resulterar i betydligt långsammare svarstid, trots asynkrona API-anrop. Samma sak gäller för transaktionhistoriken, den hämtas och lagras på applikationens back-end snarare än själva blockkedjan.

2) Marknadsanalys: Eftersom antalet intervjuer var så få och företagen valdes ut godtyckligt lider datan troligtvis av urvalsfel. De intervjuade var alla erfarna entreprenörer och hade omfattande erfarenhet av att behandla aktieböcker, aktieägaravtal och liknande. En annan aspekt har att göra med att alla intervjuade antingen hade erfarenhet av blockkedjeteknik eller i alla fall var medvetna om hur det fungerar och vilka fördelar som kan fås. Konsekvensen av detta kan vara att det genomsnittliga bolaget upplever aktieboken som mer krånglig än vad som framgår i intervjuerna och således är behovet av en förenklande tjänst större än vad som tidigare bedömts. De kanske inte heller är lika insatta i blockkedjans värdeerbjudande och har svårt att se vad produkten skulle göra för nytta. Ett annat problem är hur minoritets- kontra majoritetsägare ställer sig till värdeerbjudandet. De intervjuade hade alla stora ägarandelar i bolagen i fråga och deras bild kan skilja sig nämnvärt från minoritetsägarnas. Ta som exempel frågan om transparens. En av de intervjuade såg det som negativt att låta alla aktieägare få ägarandelarna svart på vitt eftersom det kunde utlösa konflikter med minoritetsägarna. Däremot, för minoritetsägarna, är transparens troligtvis en väldigt central aspekt, speciellt när insynen inte är lika stor som för den som faktiskt ansvarar för aktieboken.

VI. Slutsats

Utifrån koncepttestet kan det konstateras att det är tekniskt möjligt att lagra aktieböcker på blockkedjan. Kostnadsaspekten skiljer sig beroende på val av hosting-service men ytterliggare kostnadsuppskattningar behöver göras för att kunna dra slutsatser. Blockkedjetekniken erbjuder unika konkurrensfördelar där säkerhet och administrativa underlättnader identifierats som dem allra viktigaste aspekterna. Vad gäller hosting finns det ingen skräddarsydd lösning som passar perfekt som implementation. AMBs begränsningar är i första hand finansiella medan alternativa lösningar i första hand har tekniska begränsningar som troligen kräver spetskompetens.

A. Rekommendation

Vår rekommendation är att Nebulr Group ska påbörja en implementation av projektet. Vår bedömning grundar sig i två saker: vårt koncepttest, som visar att den tekniska genomförbarheten är god samt marknadsanalysen som visar att det finns en tydlig efterfrågan på bättre lösningar för aktieböcker som avlastar administration och erbjuder ökad säkerhet. Vad gäller infrastrukturen är vi inte beredda att ge någon slutgiltig rekommendation mer än att Hyperledger Fabric är väl anpassat för detta syfte. Det finns tydliga för- och nackdelar med att använda befintlig infrastruktur, som Amazon Managed Blockchain, som det finns om man bygger och hostar infrastrukturen på egen hand.

References

[1] M. Xu, X. Chen, and G. Kou, "A systematic review of blockchain," *Financial Innovation*, vol. 5, no. 1, pp. 1–14, 2019.

[2] M. Kolvart, M. Poola, and A. Rull, "Smart contracts," in *The Future of Law and etechnologies*, Springer, 2016, pp. 133–147.

[3] *Aktiebolagslag (2005:551)*. 2005. [Online]. Available: https://rkrattsbaser.gov.se/sfst?bet=2005:551.

[4] U. Desa *et al.*, "Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development," 2016.

[5] A. Lafarre and C. Van der Elst, "Blockchain technology for corporate governance and shareholder activism," *European Corporate Governance Institute (ECGI)-Law Working Paper*, no. 390, 2018.

[6] D. A. Zetzsche, R. P. Buckley, and D. W. Arner, "The distributed liability of distributed ledgers: Legal risks of blockchain," *U. Ill. L. Rev.*, p. 1361, 2018.

[7] *An Introduction to Hyperledger [Whitepaper]*. 2018. [Online]. Available: https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2018/08/HL_Whitepaper_IntroductiontoHyperledger.pdf.

[8] *Ordering service*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/orderer/ordering_service.html.

[9] *Transaction flow*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.4/txflow.html.

[10] *Writing your first application*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.2/write_first_app.html.

[11] *Bookkeeping*, in *Encyclopedia Britannica*, 15th ed., Encyclopedia Britannica Inc., 2002.

[12] *Ledger*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/ledger/ledger.html.

[13] *Smart contract*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/smartcontract/smartcontract.html.

[14] *Architecture deep dive*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-1.3/arch-deep-dive.html.

[15] *Membership service provider*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/membership/membership.html.

[16] *Wallet*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger.github.io/fabric-sdk-node/release-2.4/tutorial-wallet.html.

[17] M. Pratt. "Proof of concept (poc)." (2020), [Online]. Available: https://www.techtarget.com/searchcio/definition/proof-of-concept-POC.

[18] *Deploying a production network*, Hyperledger Foundation, 2022. [Online]. Available: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/deployment_guide_overview.html.

Appendix A
Aktiebok

Aktienr	**Införings-datum**	**Aktieägare**	**Anteckningar**
1-1000	2015-01-01	Per Persson, xxxvägen, 100 00 Sth, personr	Aktiebrev utfärdat
	2015-02-01	Överlåten till Bernt Persson, xxxvägen, 100 00 Sth, personnr	
Serie A	2017-02-09	Split 5:1, se rum 3 nedan	
Antal aktier 1000			
Aktienr	**Införings-datum**	**Aktieägare**	**Anteckningar**
1001-1500	2016-08-12	Per Persson, xxxvägen 10, 100 00 Sth, personnr	Nyemission, aktiebrev utfärdat och makulerat
Seria A			
Antal aktier 500			
Aktienr	**Införings-datum**	**Aktieägare**	**Anteckningar**
1501-5500	2017-02-09	Aktier erhållna genom split, Bernt Persson, xxxvägen, 100 00 Sth, personnr	Split 5:1, aktiebrev ej utfärdat
Serie A			
Antal aktier 4000			

Appendix B
Intervjufrågor från Marknadsanalys

1) Hur många aktieägare?
2) Hur ofta sker ägarbyten och aktieboken behöver uppdateras?
3) Vad är din roll i processen att föra aktiebok?
4) Hur ser processen ut med att föra aktiebok idag?
5) Överensstämmer aktieboken med verkligheten?
6) Uppskatta hur mycket tid/resurser som krävs för att föra aktiebok
7) Har ni klausuler i aktieägaravtalet som försvårar eller är allmänt tidskrävande för processen?
8) Kollat på alternativ till nuvarande system? Om så är fallet, vad tycker ni om det? Kostnad, smidighet etc.
9) Känns nuvarande system transparent? Säkert?
10) Är ägarstrukturen lättöverskådlig?

Appendix C
Amazon Managed Blockchain pricing

1 member x 0.30 USD hourly membership cost = 0.30 USD membership cost per hour
2 peer node instance(s) x 0.034 USD hourly = 0.07 USD instance(s) cost per hour
0.07 USD instance(s) cost per hour + 0.30 USD membership cost per hour = 0.37 USD total membership & instance(s) cost per hour
0.37 USD x 730 hours in a month = 270.10 USD total monthly membership & instance(s) cost
2 peer node instance(s) x 1 GB x 0.10 USD = 0.20 USD total monthly storage cost
2 peer node instance(s) x 1 GB x 0.10 USD = 0.20 USD total monthly data written cost
270.10 USD + 0.20 USD + 0.20 USD = 270.50 USD total monthly cost

Total cost for Hypderledger Fabric (monthly): 270.50 USD

TRITA-EECS-EX-2022:387