

ENDELIG VERSION

FEBRUAR 2018 ENERGISTYRELSEN

TEMAANALYSE OM STORE DATACENTRE



COWI

FEBRUAR 2018
ENERGISTYRELSEN

TEMAANALYSE OM STORE DATACENTRE

PROJECT NO. DOCUMENT NO.
A103295 1

VERSION	DATE OF ISSUE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
5	22-02-2018	Endelig version	FJE, JARU, JETH, JMPN, MVN	POS	JETH

INDHOLD

1	Indledning	9
1.1	Baggrund	9
1.2	Resume	10
2	Metode	14
2.1	Ordforklaring	15
3	Introduktion til HSDC-karakteristika	17
3.1	Services leveret af HSDC'er	18
3.2	Kategorier af datacenter-design	18
3.3	Elforbrug og nødforsyning	19
3.4	Køling	19
3.5	Energieffektivitet	21
3.6	Driftstemperaturer og kølemedie	23
3.7	Overskudsvarmepotentiale i kølingen	23
3.8	Delkonklusioner på HSDC-karakteristika	24
4	Datacenterdriftsmønstre	25
4.1	Standard HSDC-enhed til analyse	25
4.2	Driftsmønster hen over et år	26
4.3	Driftsmønster hen over et døgn	28
4.4	Elforbrug i ekstreme situationer	29
4.5	Vækst i elforbrug fra HSDC'er	31
4.6	Fjernvarmeproduktion	32
4.7	Delkonklusioner på HSDC-driftsmønstre	32
5	Udvikling i verdens dataforbrug og antallet af datacentre	33
5.1	Beregningsmetode trin for trin	37

6	Fordelingen af antal datacentre i Europa	40
6.1	Fire scenarier for udbygningen af HSDC'er i Danmark	43
7	Potentiale vurdering af overskudsvarme	51
7.1	Udvælgelse af placeringer til HSDC'er	51
7.2	Udvælgelse af fjernvarmesystemer	53
7.3	Potentiale for udnyttelse af overskudsvarme i de udvalgte områder	55
7.4	Potentiale for udnyttelse af overskudsvarme i Danmark	59
8	Konsekvenser for fjernvarmeaktører	64
8.1	Affaldsforbrændingsanlæg	64
8.2	Overskudsvarme	65
8.3	Multiinteressentsystemer	66
8.4	Centrale kraftvarmeanlæg	67
8.5	Øvrige fjernvarmeværker	67
9	Inputs til samfundsøkonomiske beregninger	69
9.1	Beskæftigelseseffekter	70
9.2	Øvrige inputs til beregning af samfundsøkonomi mv.	75

BILAG

Appendix A	Teknologiske faktorer bag udviklingen i datamængder og antal af datacentre	
A.1	Litteraturstudie af udvikling i datamængder på kort sigt	
A.2	Studier af tendenser på længere sigt	
A.3	Teknologitrends – større databehov	
A.4	Infrastruktur trends	
A.5	Globale makrotendenser, der vil påvirke HSDC-markedet	
A.6	Konklusion	
Appendix B	Pestel-analyse af datacentres valg af lokation i Europa	
B.1	Politisk miljø	
B.2	Energipriser og "Cost of ownership"	
B.3	Sociologisk/demografisk miljø	
B.4	Teknologisk	

- B.5 Lovgivningsmæssigt
- B.6 Miljø- og bæredygtighedsmæssigt
- B.7 Konkurrenceposition for Norden vs. resten af Europa og internt i de nordiske lande

Appendix C Anlægs- og driftsomkostninger

Appendix D Fordeling på faggrupper

Appendix E Elpriser

E.1 Interview med markedsaktør

E.2 Perspektivering på elprisforventninger

Appendix F Litteraturliste

1 Indledning

Energistyrelsen ønsker i samarbejde med Energinet at få undersøgt den forventede udbygning af datacentre i Danmark. Energistyrelsen har blandt andet til opgave at fremskrive energisektorens udvikling, herunder energiproduktion og -forbrug, som årligt udgives i Basisfremskrivningen, og fremover også i analyseforudsætninger til Energinets planlægning. Basisfremskrivningen understøtter beslutningsprocesser i dansk energipolitik og for en række af energisektorens aktører, og analyseforudsætninger til Energinet danner datagrundlaget for blandt andet planlægning af det danske transmissionsnet.

Med offentliggørelser af forventning om etablering af indtil videre op til fem store datacentre i Danmark, har Energistyrelsen ønsket at få belyst påvirkningen af el- og fjernvarmesystemerne samt dansk økonomi med henblik på at forbedre datagrundlaget for de årlige fremskrivninger af den danske energiproduktion og -forbrug.

Denne temaanalyse er udarbejdet af COWI for Energistyrelsen i tidsrummet oktober 2017 til februar 2018.

1.1 Baggrund

Hyperscale datacentre er grundlæggende store haller fyldt med servere placeret på arealer på op imod 100 hektar. Et typisk datacenter på 150 MW_{el} kan forøge Danmarks samlede elforbrug med 4 %. Datacentre leverer services til hele verden og kan i princippet placeres hvor som helst, hvor der er adgang til tilstrækkelige optiske fiberforbindelser, elforsyning mv. I praksis er der dog en lang række forhold, der tages i betragtning, når datacentre skal placeres.

Udbredelsen af datacentre skyldes hovedsageligt udbredelsen af Cloud Computing. Der er en række grunde til, at cloud computing er blevet så populært, men den primære årsag er, at virksomheder omlægger større og større dele af deres databehandling til cloud computing for at kunne fokusere på deres kerneforretning. Det er nu muligt at købe sig til eksempelvis infrastruktur og software som en service med opetidsgaranti og uden større anlægsinvesteringer i stedet for selv at skulle eje og drive servere og anden infrastruktur. Dette kan både give en strategisk og driftsøkonomisk fordel og især en hurtigere skalering og mere

smidig strategi, hvorfor virksomheder i stigende grad vælger at outsource denne del af forretningen. På samme måde vælger privatpersoner i stigende grad at lagre deres data via cloudløsninger, og samtidig er der en række teknologiske udviklinger, som analytikere forventer vil øge behovet for datacentre.

Alt dette er baggrunden for, at det i stigende grad er nødvendigt at forholde sig til udbredelsen af store datacentre.

Ifølge Energinets seneste analyseforudsætninger forventes elforbruget til store datacentre at blive ca. 3.600 GWh årligt i 2025 med et dertilhørende effektforbrug på ca. 400 MW. Datacentrene vil dermed få stor indflydelse på energisystemet, og behovet for at få belyst påvirkningen af el- og fjernvarmesystemerne samt dansk økonomi er stigende.

Denne rapport har flere formål. Først og fremmest er formålet at analysere den mulige udvikling i datacentre i Danmark med fokus på datacentrenes driftsmønstre og elforbrug. Desuden sigter rapporten på at undersøge potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra store datacentre, og endelig leverer rapporten en opgørelse af beskæftigelseseffekter og bidrag til beregning af energiintensitet og samfundsøkonomisk analyse, hvis man ønsker at gennemføre en egentlig samfundsøkonomisk analyse på et senere tidspunkt.

1.2 Resume

COWI har gennemgået de store hyperscale datacentres karakteristika. Konklusionen er, at der ikke er de store variationer i de store datacentres elforbrug og overskudsvarmeproduktion over døgnet eller over året, men mængderne vil dog være lidt større, når det er varmt. De store datacentre (herefter betegnet HSDC'er – Hyper Scale Data Center) vil blive taget gradvist i brug med en modulbaseret tilgang. Hastigheden i ibrugtagningen er meget usikker, og det er dermed også usikkert, hvor hurtigt elforbruget og den potentielle overskudsvarmeleverance vil stige. Det samme gælder efterspørgslen på arbejdskraft. Derudover er det også meget usikkert, hvor mange HSDC'er, der kommer til Danmark, hvilket er håndteret ved brug af følgende metode:

Ved hjælp af litteraturbaserede fremskrivninger af globale datamængder, antagelser om størrelsen af fremtidige datacentre og fordelingen af datacentre mellem verdensdelene har COWI lavet scenarier for antallet af fremtidige datacentre i Europa. Der er suppleret med scenarier for den danske markedsandel af de europæiske datacentre. Udviklingen de seneste år har vist, at datacenter-ejerne hurtigt kan skifte fokus fra det ene land til det næste. Disse skift kan være baseret på forskellige parametre - alt fra "ease of doing business" til båndbredden på fiberforbindelser over Atlanten og til vurdering af politisk stabilitet. Disse og flere faktorer er derfor også analyseret og benyttet til udarbejdelse af scorecards som indikerer, hvilke markedsandele, der er realistiske for forskellige europæiske lande. Derudover er der stor usikkerhed omkring den teknologiske udvikling, og der er derfor inkluderet et scenarie, der beskriver disruption i måden at behandle data.

Dette munder ud i fire scenarier for det fremtidige antal HSDC'er i Danmark

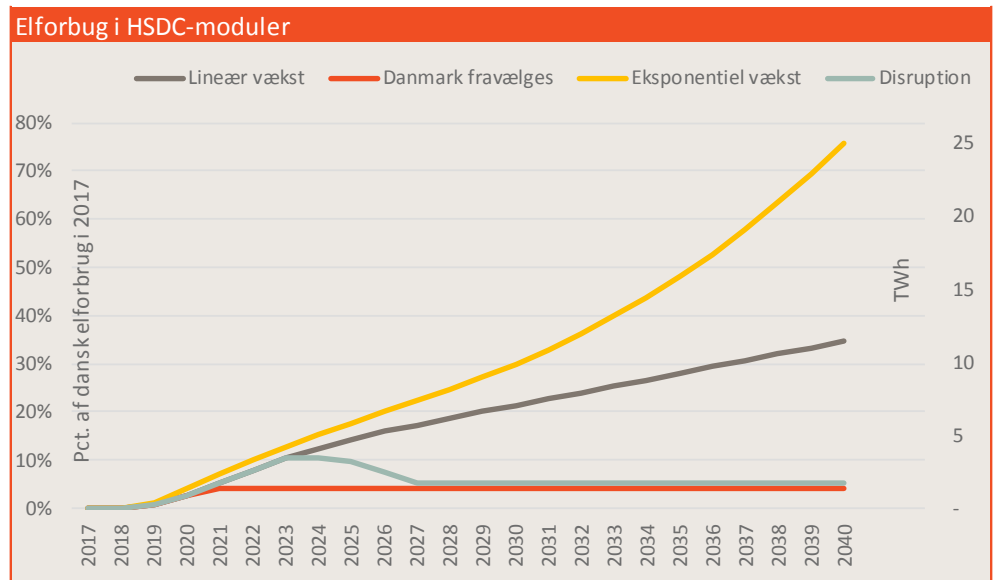
Tabel 1-1 Scenarieoverblik

	Lineær vækst	Danmark fravælges	Disruption	Eksponentiel vækst
Vækst i workloads til HSDC'er	Lineær	Lineær	Lineær	Eksponentiel
Teknologisk udvikling	Ingen	Ingen	Disruptiv udvikling	Nogen effektivisering
DK markedsandel¹	30 % » 15 %	30 % » 0 %	30 % » 15 %	30 % » 15 %

Disse scenarier er gennemgående i rapporten og effekterne beregnes derfor for hvert scenarie - både hvad angår elforbrug, overskudsvarmeproduktion og behov for arbejdskraft m.v.

Udfaldet af scenarierne er meget forskelligt, hvilket understreger den store usikkerhed, der er på denne type fremskrivninger baseret på udviklinger i alt fra politik til teknologi. Scenariet "Lineær vækst" betragtes som hovedscenariet (eller "bedste bud" med den viden vi har i dag), da den hidtidige udvikling i data-mængderne jf. Cisco Global Cloud Index 2015-2020 har været lineær.

Figur 1-1 Elforbrug fra store hyperscale datacentre



¹ Udvikling fra nu til om ca. 5 år.

I hovedscenariet "Lineær vækst" vil der komme ca. 6 HSDC'er i 2030 stigende til 9 HSDC'er i 2040, hvis samme lineære vækst fortsætter. Disse HSDC'er antages at have en gennemsnitlig effekt på 150 MW_{el} til it-udstyr. I dette forløb vil det samlede elforbrug fra de store hyperscale datacentre være på ca. 7 TWh i 2030 og 11,4 TWh i 2040 svarende til hhv. ca. 20 og 33 % af elforbruget i 2017.

Som det fremgår, er der betydelig usikkerhed om antallet af HSDC'er, der placeres i Danmark og deres energiforbrug. Dermed er der stor forskel på udviklingen i de forskellige scenarier - og især på den lange bane kan der være meget stor forskel på udviklingen. I praksis kan udviklingen også vise sig at være en kombination af de viste scenarier.

Usikkerheden skyldes, på kort sigt især, muligheden for pludselige skift i HSDC-operatørernes opfattelse af de enkelte landes attraktivitet. Dette kan både skyldes initiativer med henblik på at gøre et land mere attraktivt for HSDC-operatører, men det kan også skyldes udviklinger i et eller flere lande, som HSDC-operatørerne opfatter negativt.

Overordnet skyldes denne usikkerhed og muligheden for pludselige skift, at der er en række nordeuropæiske lande, som er meget lige, og hvor politiske udviklinger kan få stor indflydelse på, hvor den næste bølge af HSDC'er vil placere sig. På lidt længere sigt spiller også den teknologiske udvikling ind. Der er konsensus om, at der kan forventes en hastig stigning i globale datamængder pga. selvkørende biler, augmented reality, internet of things m.v. Det er imidlertid uvist, om den teknologiske udvikling i transport, behandling og lagring af data vil gå hurtigere eller langsommere end udviklingen i datamængder, hvorfor det er usikkert, om den hastige udvikling i antallet af store centrale HSDC'er vil fortsætte på længere sigt.

De HSDC'er, der bliver bygget, kan have forskellige størrelser, men vil ofte have mellem 100-200 MW_{el} installeret effekt til it-udstyr. Et HSDC bliver gradvist fyldt op med moduler, som i øjeblikket typisk kan have størrelser på omkring 30 MW_{el} til it-udstyr pr. stk. Et HSDC drives uden store udsving i elforbrug og varmeproduktion. Det har typisk muligheden for at gå i ø-drift både på el- og varmesiden, men man kan også forestille sig et HSDC, der kun har nødstrømskapacitet til at sende trafikken videre til andre HSDC'er frem for selv at køre videre på 100 % drift i tilfælde af strømafbrud.

Når datacentrene først er etableret, vurderes udnyttelsen af overskudsvarmen at være en god løsning. Den mere generelle interesse for varmepumper i Danmark er tiltaget over de seneste år, og det forventes at blive en væsentlig del af fremtidens grønne varmeforsyning. Hvis et fjernvarmeselskab skal etablere et varmepumpeanlæg, vil man kunne opnå en væsentlig bedre Coefficient of Performance (COP) ved at udnytte overskudsvarme, end hvis man skal bruge naturlige varmekilder såsom luft, grundvand, havvand m.v. Udnyttes overskudsvarmen således ikke, kan det medføre et øget elforbrug til alternative varmekilder med lavere COP-værdier. For store centrale systemer (eksempelvis Fjernvarme Fyn, Aalborg Energikoncern) er der yderligere udfordringer med at finde naturlige varmekilder til brug for varmepumper i en relevant skala. Et luft-indtag til en varmepumpe på 100 MW_{varme} vil fylde et meget stort areal og et grundvandsind-

tag til $100 \text{ MW}_{\text{varme}}$ vil kræve mange lange vandføringsledninger. Her vil udnyttelsen af overskudsvarmen åbne for muligheden for i nogle tilfælde, at erstatte fossil varmereproduktion med varmepumper.

Med henblik på at vurdere det samlede overskudsvarmepotentiale fra HSDC'erne er der set på mulige placeringer i Vestdanmark (Jylland og Fyn), hvor de kendte HSDC'er indtil videre har valgt at lokalisere sig i nærheden af de store transformatorstationer. Nogle store transformatorstationer ligger placeret i nærheden af Aalborg, Aarhus og Odense, mens andre ligger langt fra de store byer. Der er således stor forskel på, i hvor høj grad varmen kan udnyttes i fjernvarmenettet.

Til denne analyse er der udvalgt ni mulige placeringer, hvoraf det er vurderet rentabelt at indpasse overskudsvarme i otte. Mængden af overskudsvarme, der kan indpasses i hovedscenariet "Lineær vækst" er estimeret til 685-3400 GWh om året afhængig af om datacentret er placeret optimalt ift. udnyttelse af overskudsvarmen eller ej. Et vægtet skøn er, at der kan indpasses knap 2500 GWh om året i 2030 svarende til ca. 30 % af overskudsvarmen fra HSDC'erne i 2030 og knap 20% af deres overskudsvarme i 2040. Udnyttelsen varierer dog fra placering til placering og afhænger af en række faktorer, herunder især varmegrundlag, afstand til fjernvarmesystemet og prisen for den varme, der fortrænges.

Det bemærkes, at potentialet for udnyttelse af overskudsvarme til fjernvarmeformål er baseret på overordnede betragtninger. At vurdere, hvorvidt udnyttelsen reelt er rentabel for det enkelte system, kræver væsentlig mere detaljerede analyser.

Et fuldt udbygget datacenter med en it-effekt på ca. $150 \text{ MW}_{\text{el}}$ forventes at kunne indpasse ca. 4.300 TJ i Fjernvarme Fyns system svarende til ca. 45 % af den byens årlige varmereproduktion. Hvis overskudsvarmen blev indpasses som 1. prioritet (inden affald), forventes det muligt at indpasse ca. 5.100 TJ i systemet svarende til ca. 54 % af varmereproduktionen.

Ligesom for indpasning af overskudsvarme er der store forskelle i udfaldet for arbejdskraftbehovet, som er opgjort inklusiv relativt usikre afledte effekter. Dvs. effekterne er inklusiv effekter i følgeindustrier og effekter af lønmodtagernes øgede indkomst og dermed forbrug. I scenariet "Danmark fravælges" topper arbejdskraft behovet eksempelvis på knap 3.500 årsværk i 2019, mens det i scenariet "eksponentiel vækst" stiger støt frem mod 2040, hvor der er behov for over 12.000 årsværk. I hovedscenariet "Lineær vækst" topper beskæftigelseseffekten til sidst i analyseperioden med knap 4000 årlige årsværk.

Der bliver først og fremmest efterspørgsel efter erhvervsfaglig arbejdskraft i anlægsfasen, hvor den største årlige beskæftigelse genereres. I scenariet "eksponentiel vækst" genereres der dog også en betydelig erhvervsfaglig beskæftigelse i forsyningssektoren i driftsfasen.

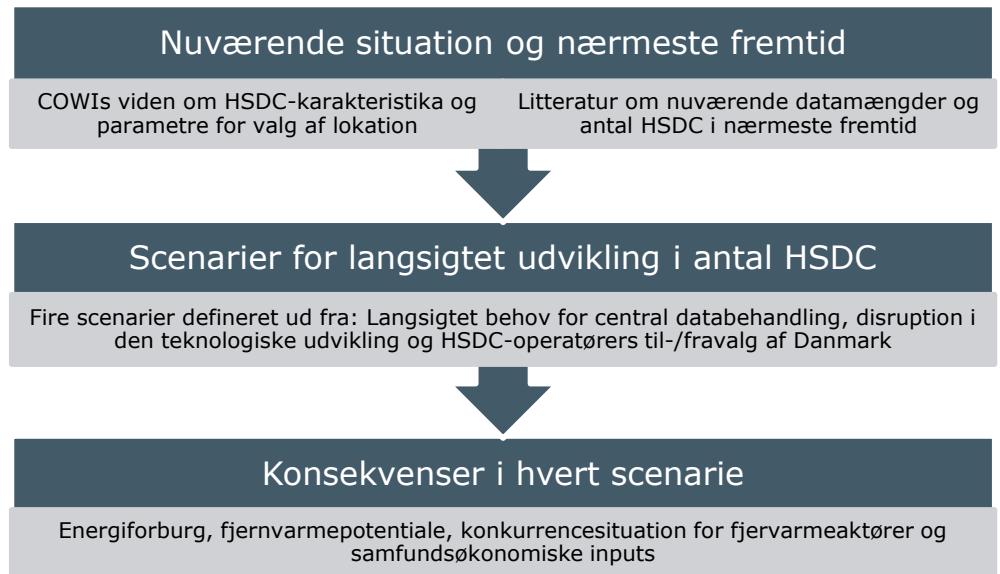
2 Metode

Temaanalysen om store hyperscale datacentre (HSDC) bringer mange fagområder i spil, idet analysen kommer ind på både kategorisering af HSDC'er, scenarier for datamængder og antal HSDC'er, betydningen for el- og varmesystemer samt samfundsøkonomien.

Centralt i rapporten er antallet af HSDC'er, der forventes etableret i Danmark frem mod 2040. Her er der både tale om en lang tidshorisont og et område under hastig teknologisk udvikling. Dette er på kort sigt håndteret ved at bruge litteratur om datamængder og HSDC'er og COWIs viden om HSDC-karakteristika og parametre, der er afgørende for valg af lokation. Med hensyn til den langsigtede udvikling har det været nødvendigt at definere fire scenarier for antallet af HSDC'er, idet der ikke findes kilder, der kan give viden om den langsigtede udvikling i Danmark. Der er således ikke tale om en teknologisk modellering af antallet af fremtidige HSDC i Danmark, men derimod om en vurdering af HSDC-markedet for Danmark på baggrund af scenarier for teknologisk udvikling. COWI har således udarbejdet rapporten ud fra kendskab til HSDC-markedet i Danmark og som rådgiver med sektorkendskab til datacentres infrastruktur samt sammenhæng med varmesystemerne, arbejdsmarkedet og samfundsøkonomien – men ikke som et it-analysehus. Yderligere analyser af den teknologiske udvikling, som påvirker behovet for HSDC'er, kan således være relevante. Rapporten forholder sig heller ikke til, hvilke investeringer i eltransmissionsnettet HSDC-placeringer og andre udviklinger kan indebære, hvorfor dette også kan være et emne til yderligere analyse.

Nedenfor ses en grafisk præsentation af metoden, der er anvendt i denne rapport.

Figur 2-1 Metode



Udbud af og efterspørgsel efter databehandling vil i denne analyse blive beskrevet via de teknologier, der hhv. skaber behov for transport, lagring og behandling af data og de teknologier, der udvikles til at imødekomme dette behov.

2.1 Ordforklaring

150 MW HSDC = En analysestørrelse, der vurderes at være repræsentativ for fremtidens HSDC'er i Danmark, idet de efter COWIs markedskendskab ofte vil ligge mellem 100 og 200 MW el-effekt til it-udstyret. I praksis vil størrelserne variere på de store datacentre. Når der i rapporten omtales antal HSDC, er det derfor i betydningen 150 MW HSDC-ækvivalenter. 150 MW angiver den effekt, hvormed servere, netværksudstyr og lagringsmedier forbruger el, og er også omtalt datacenterets it-effekt.

30 MW modul = En analysestørrelse, der vurderes at være repræsentativ for de moduler, som fremtidens HSDC'er i Danmark, er bygget op af. Således antages et HSDC i denne analyse at bestå af 5 moduler, der hver har en el-effekt til IT-udstyr på 30 MW.

Built for Purpose HSDC = Et HSDC, der er designet til brug for én stor bruger. Alt fra design af racks (de skabe serverne står i) til design af TIER niveau og arkitektur på bygning og udendørsarealer er tilpasset formålet for én bestemt bruger – typisk en stor international it-virksomhed.

Cloud Computing = levering af software, service og tjenesteydelser via internettet. Cloud Computing er dermed alternativt til, at brugeren selv har installeret software på egne enheder og udfører beregninger og lagring på egne enheder.

Cloud HSDC = HSDC'et udfører *workloads*, lagring m.v. for brugere, der ikke ønsker selv at eje servere og tilhørende infrastruktur til at gøre dette. Workloads m.v. bliver allokeret via optiske fiberforbindelser mellem Cloud HSDC'er for at opnå bedst mulig ressourceudnyttelse.

CoLo HSDC = Flere brugere er medejere eller lejer sig ind i et HSDC. Her har de adgang til en bestemt båndbredde og en bestemt serverkapacitet.

COP = Coefficient of Performance - virkningsgrad

Datacentre = Datacentre af alle størrelser. Termen bruges, når branchen omtales generelt og ikke kun vedrørende HSDC'er.

EB = Exabyte = 10^{18} byte

EER = Energy Efficiency Ratio

HSDC = Hyperscale datacentre. Termen bruges om de helt store datacentre.

IoT = Internet of Things, når fysiske produkter (andre end computere og smart phones) er koblet op på internettet og kan udveksle data.

PUE = Power Usage Effectiveness til opgørelse af energieffektivitet i datacentre.

TIER Niveau = Designkategorier defineret efter ønsket driftssikkerhed.

TSO = Transmission System Operator, i Danmark Energinet.

UPS = Uninterruptible Power Supply, ofte et system baseret på batterier, der sikrer uafbrudt strømforsyning.

Workloads = Mængden af databehandling en server udfører. Typisk udløses workloads af brugere, der interagerer med programmer, hvormed programmet udfører "beregninger" eller databehandling på en server.

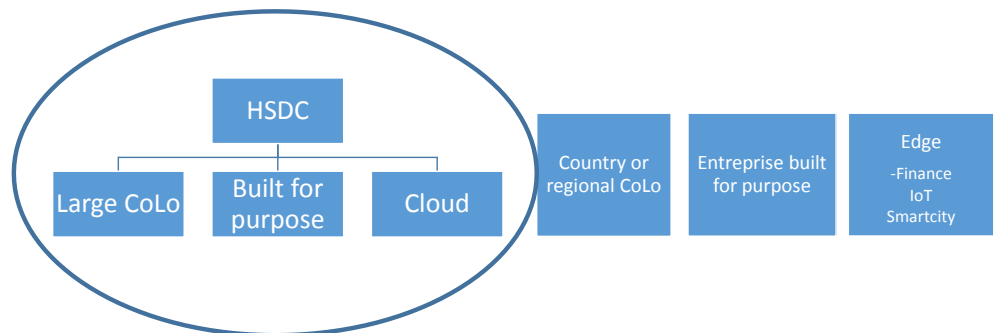
ZB = Zettabyte = 10^{21} byte.

3 Introduktion til HSDC-karakteristika

Dette afsnit introducerer de typer af datacentre, der opererer i Europa i dag og forventeligt i fremtiden, hvilke services der leveres mv. Af hensyn til relevansen for både el- og varmesystemerne samt samfundsøkonomien fokuseres der udelukkende på de store HSDC'er, som dækker over Large CoLo, Built for Purpose og Cloud. De små datacentre, der findes i Danmark i dag, er uundværlige for brugerne af dem, men vurderes ikke i sig selv at være relevante for en analyse som denne, idet de har begrænset betydning for el- og varmesystemerne.

Datacentre kan inddeles i mange kategorier, men som nævnt er det ikke relevant at gå i dybden med alle kategorier inden for mindre datacentre.

Figur 3-1 Kategorisering



Som nævnt i afsnit 1 skyldes en stor del af udbredelsen af HSDC'er udbredelsen af cloud computing. HSDC'er fortrænger i højere og højere grad mindre datacentre, og ifølge Ciscos Cloud Index 2016 vil HSDC'er i 2020 udgøre 47 % af serverkapaciteten mod 21 % i dag. En anden trend er, at der vil komme øget tilstedeværelse decentralt, i såkaldte Edge Micro-datacentre. Dette vil være et geografisk meget distribueret netværk, der sender nogle af datamængderne ind i de store systemer og processerer nogle data lokalt til f.eks. førerløse biler og andre smart city-applikationer.

Følgende karakteristika og deres mulige påvirkning på datacentrenes el- og varmeforbrug behandles i de efterfølgende afsnit:

- > Services leveret af datacentrene

- > Kategorier af datacenter-design
- > Elforbrug og nødforsyning
- > Energieffektivitet
- > Driftstemperatur og kølemetode
- > Overskudsvarme.

3.1 Services leveret af HSDC'er

Et HSDC leverer typisk forskellige services inden for platforme til clustered database, webinterface, media serving, bulk database-lagring, dataanalyse og tredjeparts-hosting af applikationer.

De konkrete services, som et HSDC leverer, forventes ikke at påvirke datacenterets elforbrug og overskudsvarmepotentiale, da HSDC-operatørerne vil forsøge at udnytte den fulde designkapacitet for at få mest udbytte af deres investering, uanset hvilken type service datacentret leverer.

3.2 Kategorier af datacenter-design

Et datacenter designes efter at optimere opetid (tid, hvor et datacenter er i drift) under hensyntagen til økonomi og konsekvens for et datacenter ved nedbrud. Datacenterdesign varierer mellem de forskellige datacenter-operatører, men kan generelt opdeles i kategorier. Den amerikanske forening, UPTIME Institute, der er stiftet af datacenteroperatører, er almindeligvis anerkendt som de første, der introducerede en metodik, der i hovedtræk inddeler datacenterdesign i kategorier

- > TIER I:
Et datacenter er i stand til at forsyne sig selv uafhængigt af ekstern forsyning, dvs. datacentret er typisk udstyret med UPS, generator og køleanlæg til 100 % designkapacitet.
- > TIER II:
Som TIER I, samt at datacentret er redundant for alle kritiske kapacitetskomponenter, dvs. alle komponenter såsom kølemaskiner, pumper, generatorer, UPS mm. er N+1, hvor N er 100 % kapacitet. Det vil i praksis betyde, at datacentret vil være 100 % egenforsynet under service på hovedkomponenter.
- > TIER III:
Som TIER II, med mulighed for at servicere samtlige anlæg under drift. Det vil sige, at det er muligt f.eks. at tage en hvilken som helst ventil, rørstykke, eltavle mm. ud under drift, uden at it-driften (og dermed el-forbrug og overskudsvarmepotentiale) påvirkes.
- > TIER IV:
Som TIER III, dog vil enhver fejl skulle detekteres af systemer, der auto-

nomt isolerer fejlen uden indgreb fra personale. Derudover er forsyningssystemerne i TIER IV datacentre brandadskilte, således at en brand alle andre steder end i selve rummet med it-udstyr ikke vil føre til nedbrud.

De fleste datacentre designses med mange elementer fra TIER III. TIER IV datacentre er ikke hyppige, mens mange gamle datacentre er TIER I eller TIER II.

Desto mere kritisk et datacenter er for driften af ydelserne, som datacenteroperatøren producerer, desto højere forsyningssikkerhed vil et datacenter blive designet efter. Banker, der udfører værdipapirhandel, vil typisk designe et datacenter som TIER III med elementer fra TIER IV, mens et datacenter, der hoster private hjemmesider eller bruges til forskning på universiteter, vil blive designet som TIER I eller TIER II. Et HSDC designses med elementer fra TIER I til TIER III.

HSDC-operatørens krav til forsyningssikkerhed (herunder TIER-niveau) er af afgørende betydning for anlægsinvesteringen og den fysiske placering af datacentret. I denne rapport er anlægsinvesteringerne derfor anslået for et HSDC med elementer fra TIER I til TIER III. Uanset TIER-niveau vil elforbruget være relativt konstant, men et lavere TIER-niveau vil betyde at HSDC'et statistisk set vil havare mere oftere med betydning for elforbrug og overskudsvarmepotentiale.

3.3 Elforbrug og nødforsyning

Datacentrene har installeret UPS-anlæg, der kan forsyne it-udstyr ved udfald af elnettet, og som kan stabilisere frekvensen til it-udstyr ved frekvensudsving på nettet. UPS-anlægget vil typisk kunne forsyne it-udstyret i 1-10 minutter, f.eks. ved hjælp af batterier. Derudover har et datacenter ofte mulighed for at være egenforsynet i typisk 24-72 timer via installation af en række dieselgeneratorer med olieoplag. Normalt vil det installerede nødstrømssystem være i stand til at producere 100 % af designkapaciteten for et datacenter. Det sker dog, at datacenteroperatører - under hensyntagen til forsyningssikkerheden i elnettet på det pågældende site og deres it-driftsstrategi - ikke installerer 100 % kapacitet i nødforsyningsanlæg, men accepterer et delvis nedbrud af it-systemer ved nedbrud på det elnet, der forsyner datacentret.

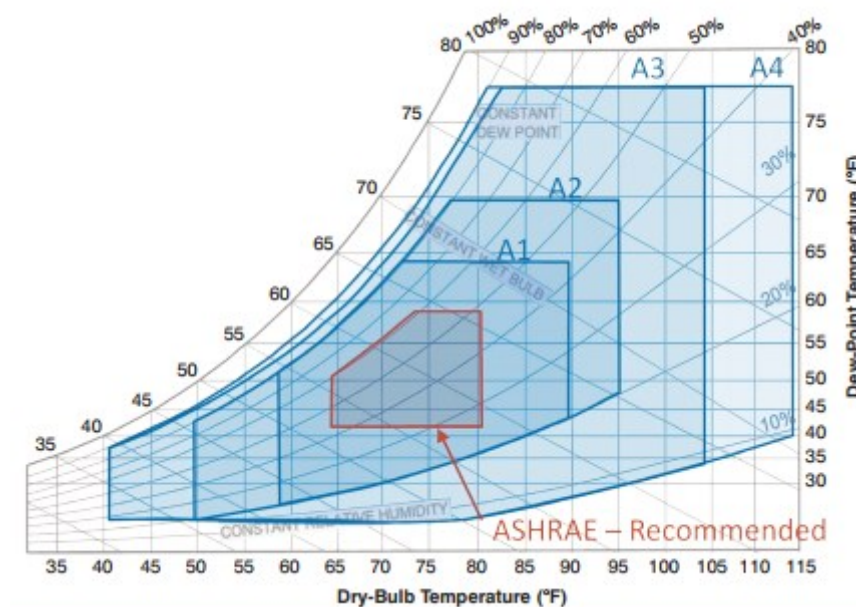
Det betyder, at det ikke kan konkluderes med sikkerhed, om HSDC'erne vil blive designet med 100 % nødstrømskapacitet eller en kapacitet på eksempelvis 10-20%. HSDC'erne vil - uanset dette valg - regelmæssigt teste deres nødstrømsproduktion, og HSDC'er designet med 100% nødstrømskapacitet vil regelmæssigt teste ø-drift, med stor betydning for deres træk på transmissionsnettet.

3.4 Køling

For at sikre drift af datacentret skal varmen fra it-udstyr fjernes.

Temperatur og luftfugtighed i datacentret skal holdes inden for prædefinerede rammer for at sikre, at it-udstyrets specifikationer overholdes. ASHRAE² definerer forskellige klasser, som luften ved tilgang til it-udstyret skal overholde.

Figur 3-2 ASHRAE 2011-miljøklasser for datacentre



Varmen fra it-udstyr fjernes typisk ved luftkøling hen over it-udstyret. Da it-udstyret bliver mere og mere kompakt, dvs. at elforbruget i forhold til it-udstyrets volumen stiger, er der en stigende tendens til at anvende direkte vandkøling af it-udstyr. Det er dog ikke særlig udbredt endnu og giver udfordringer med at sikre redundans i kølingen.

Køling inde i et datacenter foregår derfor typisk ved, at kold luft blæses/suges hen over it-udstyret, hvorved luften opvarmes. Efterfølgende skal den varme luft enten køles ned eller erstattes af kold luft.

Da HSDC-operatører ofte er med til at designe, udvikle og/eller stille krav til det it-udstyr, der installeres, er HSDC'erne typisk mere villige til at acceptere større udsving i temperatur og luftfugtighed, og derved accepterer de mere brede miljøklasser, som angivet i Figur 3-2.

Traditionel frikøling, som er udbredt blandt eksisterende datacentre i Danmark, er baseret på et vand-/brine-baseret anlæg, hvor vandet køles ned ved at blæse udeluft hen over køleladere i en tørkøler. Når udetemperaturen bliver for høj til, at vandet kan køles tilstrækkeligt ned, suppleres der med mekanisk køling ved hjælp af kølekompresorer i kombineret drift (frikøling/kompresorkøling). Når udetemperaturen stiger yderligere, så kombineret drift ikke er mulig, opereres der med ren mekanisk køling, dvs. med kompressordrift.

² American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) er en international teknisk organisation for alle individuelle og organisationer interesseret i opvarmning, ventilation, luftkonditionering og køling

Traditionelt set leveres køling til et datacenter gennem mekanisk køling i form af kølekompressorer, hvor kondensatorvarmen enten afgives via køletårne eller tørkølere. Frikøling og partiel frikøling er efterhånden industriel standard for disse anlæg, så kølekompressorerne kun kører, når udetemperaturen er for høj til, at køling kan foretages uden kompressordrift. De bredere miljøklasser giver dog mulighed for at foretage køling uden brug af kølekompressorer, men eventuelt ved brug af adiabatisk køling, dvs. vandspray, der sænker temperaturen ved at hæve luftfugtigheden.

Det vurderes, at HSDC med tiden generelt vil gå mod at benytte luftkøling baseret på adiabatisk principper i Danmark på grund af bedre energieffektivitet/mindre miljøbelastning, mere moden teknologi, mindre investeringsbehov samt en bevægelse mod at anvende bredere miljøklasser for it-udstyr. Derfor er denne kølemetode i denne rapport benyttet som standard ved beregning af overskudsvarme, elforbrug, investeringer mv. medmindre andet er angivet.

3.5 Energieffektivitet

Energieffektiviteten af et datacenter kan opgøres på adskillige måder. The Green Grid er et non-profit internationalt konsortium for datacenteroperatører mm., der blandt andet opgør energieffektiviteten for et datacenter.

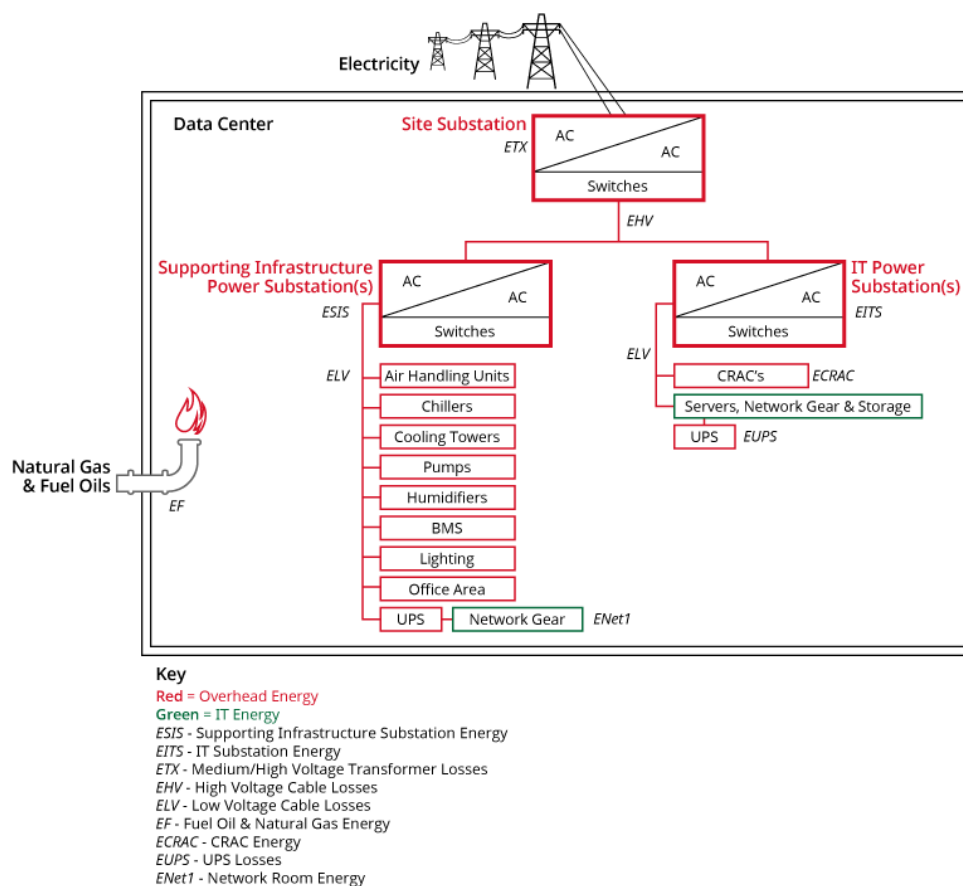
Den traditionelt mest udbredte metode er Power Usage Effectiveness (PUE), som opgøres som

$$PUE = \frac{\text{Total optaget effekt}}{\text{effekt optaget af IT - udstyr}}$$

Metoden belyser udelukkende forsyningsanlægget og ikke selve databehandlingen og har derudover sine begrænsninger, da den eksempelvis ikke tager højde for eventuel varme, der bliver nyttiggjort til fjernvarme. Metoden tager således ikke højde for, hvor effektivt it-udstyret i et datacenter anvendes, men fokuserer udelukkende på energieffektiviteten af forsyningsanlæggene.

Metoden fortæller derimod noget om de tab, der gennem designet er i opbygningen af systemerne. Derudover vil det som hovedregel gælde, at jo højere forsyningsikkerhed, jo dårligere (højere) PUE, da alle systemerne (UPS, generator mm.) vil medføre et effekttab.

Figur 3-3 Indpasning af datacentre i infrastruktur³



Kilde: <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>

Den største betydning for PUE er traditionelt set køling. Det er ikke unormalt, at ældre datacentre har PUE på over 2, hvis der ikke benyttes frikøling, men udelukkende kompressorkøl uafhængig af omgivelsestemperaturen. Ifølge UPTIME Institutes 2014 data center survey var det globale gennemsnit af PUE for datacenterernes største datacentre omkring 1,7. PUE afhænger i høj grad af omgivelsesbetingelser, og derfor vil et datacenter, der placeres i et koldt miljø, have en bedre (lavere) PUE end datacentre i varmere klimaer. Nyere datacentre i Skandinavien vil have et gennemsnits-PUE for året i omegnen af 1,1-1,5. HSDC'ere vil, da de accepterer bredere miljøklasser i henhold til Figur 3-2, have et gennemsnits-PUE for året på mellem 1,05 og 1,2.

Internetgiganten Facebook publicerer deres realtime-PUE via Facebooksider for hvert enkelt HSDC, f.eks. Facebooks HSDC i Luleå, Sverige opererer med en PUE i det nævnte område, se også:

<https://www.facebook.com/LuleaDataCenter/app/115276998849912/>

³ <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>

3.6 Driftstemperaturer og kølemedie

Generelt køles it-udstyr med luft, enten direkte (udeluft) eller indirekte med et begrænset friskluftskifte. Lufttemperaturen ved tilgang til it-udstyret er typisk 20-25 °C, som bliver opvarmet hen over it-udstyret til 35-45 °C. For at opnå høj effektivitet er det essentielt, at returluften adskilles fra den kolde luft til it-udstyr.

For at sikre, at lufttemperaturen i alle drifttidspunkter kan holdes kold, benyttes enten vandbestøvning (adiabatisk køling) eller mekanisk køling (traditionelt køleanlæg). Vandbestøvningen ved adiabatisk køling benyttes i den del af sommeren, hvor udetemperaturen er for høj til, at indtag af udeluft alene kan holde luften inde i datacentret tilstrækkeligt kølig.

Der ses dog en parallel udvikling mellem forskellige kølemetoder, hvor direkte væskekøling af it-udstyr kan komme tilbage på markedet, hovedsageligt drevet af den store energiintensitet af it-udstyr. Dette vil betyde langt bedre muligheder for varmegenvinding, da temperaturen på mediet (f.eks. vand) vil blive langt højere (potentielt mere end 50 °C). Denne udvikling er dog stadig usikker, da direkte væskekøling er forbundet med en række driftsusikkerheder om forsyningssikkerhed, og da den vil betyde en væsentlig omkostningsforøgelse på grund af investeringer i mekanisk køling.

3.7 Overskudsvarmepotentiale i kølingen

Alt el, som benyttes af et datacenter, bliver til varme, der skal køles væk, enten mekanisk eller naturligt. Varmen kan potentielt udnyttes ved at installere luft-til-vand-vekslere i afkastsystemet, eller den kan udnyttes direkte fra kølesystemet, hvis datacentret er mekanisk kølet ved hjælp af kølekompressor.

Luftkøling anvendes enten direkte, hvor udeluft blæses direkte ind i datacentret, eller indirekte, hvor udeluft føres gennem en veksler, således at det indre system i datacentret er lukket med en minimal friskluftudskiftning. Da der er tab i veksling (tryktab og temperaturniveau), er det ud fra en energibetragtning bedst at benytte direkte luftkøling.

Direkte luftkøling stiller dog en række krav til luftkvalitet, da der skal monteres luftfiltre (som medfører tryktab) for at styre luftkvaliteten. Direkte luftkøling kræver dog også, at datacentret er fysisk placeret, hvor der er minimal risiko for kontaminering af luft fra omgivelserne (f.eks. partikler) og er derfor ikke velegnet i bymæssig bebyggelse eller tæt på visse typer industrivirksomheder, som f.eks. kemivirksomheder.

For at regulere den maksimale luftfugtighed ved direkte luftkølede datacentre, kan det være nødvendigt at installere et mindre mekanisk køleanlæg til affugtning af den luft, der recirkuleres. Dette vil dog i givet fald kun ske i de meget varme og fugtige perioder.

En delstrøm af luften bliver recirkuleret afhængig af temperatur og fugtighed af udeluften i et HSDC, afhængig af omgivelsestemperatur og fugtighed og aktuel belastning, mens den resterende del ledes ud til det fri.

I datacentre er det i princippet muligt at udvinde varme af al den energi, der tilsættes, ekskl. tab i bygningskallen. Tabet til bygningen er dog oftest meget begrænset sammenholdt med energiforbruget.

Den returluft, der forlader datacentret, vil typisk være 35-40 °C, afhængig af en række faktorer. Særligt it-operatørernes acceptable designtemperatur for it-udstyr bestemmer afkasttemperaturen af luften. Forhold som den aktuelle belastning af datacenteret og kontrol af luftstrømme for at sikre, at luft kun blæses derhen, hvor det skal benyttes i datacentret, er vigtige for den aktuelle afkasttemperatur.

Generelt i datacenterindustrien er der en bevægelse mod at hæve afkasttemperaturen for derved at sænke energiforbrug til ventilatorer og hæve energieffektiviteten af datacentret. Det må derfor forventes, at afkasttemperaturen vil stige for fremtidige datacentre, hvilket vil gøre varmegenvinding endnu mere interessant.

3.8 Delkonklusioner på HSDC-karakteristika

HSDC'er kan levere en række services og inddeles i forskellige kategorier, men præcis, hvilke services der leveres er af mindre betydning for det omgivende samfund. HSDC'er designes med udgangspunkt i TIER-niveauer, og de HSDC'er der forventes etableret i Danmark vil, jf. disse designstandarder, have en meget høj grad af forsyningssikkerhed via nødstrømsgeneratorer mv. Denne rapport forholder sig ikke til, om denne nødstrømsforsyning kan eller bør stilles til rådighed for Energinet.dk. HSDC'er vil i øvrigt blive drevet med høj energieffektivitet i forhold til andre datacentre, og overskudsvarmen forventes – i hvert fald rent teknisk – at kunne udnyttes til fjernvarmeformål.

4 Datacenterdriftsmønstre

I dette afsnit beskrives driftsmønstre for datacentre med anvendelse af forskellige køleteknologier. Der er i afsnittet taget udgangspunkt i en dansk driftssituation, det vil sige med typiske danske temperaturforhold. Alle angivelser omkring driftsmønstre tager udgangspunkt i, at elforbruget til it-drift holdes konstant.

For et datacenter er der en vis variation i driftsmønstret. Elforbruget for et datacenter varierer alt afhængig af, hvordan udetemperaturen er. Det skyldes, at køleanlæggets elforbrug varierer afhængig af udetemperaturen, da der i kolde perioder er mulighed for frikøling. Effektiviteten af et køleanlæg kan beskrives med en EER (energy efficiency rate). Energy efficiency-raten er et udtryk for, hvor mange kW-køling man får, når man forbruger 1 kW el. For et mekanisk køleanlæg med chillere varierer EER'en typisk fra 3-5, når det er rigtig varmt, og op til 25-30, når der er fuld frikøling.

Et datacenter forsøger at opnå så lav en PUE som muligt, men grundet nødvendigheden af at opretholde opetiden er generatorer, UPS'er og køling uundværlige. Derfor ligger en design-PUE for HSDC typisk på ca. 1,05-1,2. Desuden ønsker datacenteroperatører typisk ikke at lægge sig helt op ad designlasten for elforbrug til it, hvorfor de typisk lægger sig med en gennemsnitsbelastning på omkring 95 % for at kunne tage højde for fluktuationer i forbrug.

Det tab der er fra HSDC'et er, ud over forbruget til at køle it-udstyret, tab i de elektriske installationer. Tabet i elektriske installationer, inkl. elproduktionsudstyr ligger typisk på omkring 3-10 % afhængig af forsynings sikkerhedsniveau og aktuel belastning. For HSDC-operatørerne må det forventes, at tabene i de elektriske installationer er i den lave ende af intervallet.

4.1 Standard HSDC-enhed til analyse

For at analysere driftsmønsteret i et HSDC er der i de kommende eksempler taget udgangspunkt i et fuldt udbygget HSDC med en it-effekt dimensioneret til et forbrug på

150 MW_{el}⁴. Der er desuden anvendt en design-PUE på 1,1 baseret på adiabatisk køling, og der er taget højde for, at HSDC-operatøren holder sig til en it-belastning på 95 % af designkapaciteten. Det giver en samlet gennemsnitlig effekt på 160 MW_{el}⁵ med en aktuel it-effekt på 143 MW_{el}⁶.

I dette afsnit er der ud over "standard-HSDC", som beskrevet ovenfor, vist grafer for forbrug for et HSDC-baseret på traditionel, mekanisk køling samt en køleløsning med adiabatisk køling. Forskellen på de to typer køleanlæg er de strømforbrugende enheder. Ved mekanisk køling er det kompressorer og pumper, der er strømforbrugende og vand, der bliver pumpet rundt som kølemedie. Det gør, at der i kolde perioder er mulighed for at frikøle med en høj virkningsgrad på kølesystemet (EER omkring 29), men i varme perioder vil virkningsgraden være lav (EER omkring 3-5). For et adiabatisk køleanlæg er det kun blæsere, der er strømforbrugende. Det gør, at der er en lille variation i forbrugsmønsteret på et adiabatisk køleanlæg, da blæserhastigheden ikke reguleres særligt meget, men vand tilføjes for at sænke temperaturen.

4.2 Driftsmønster hen over et år

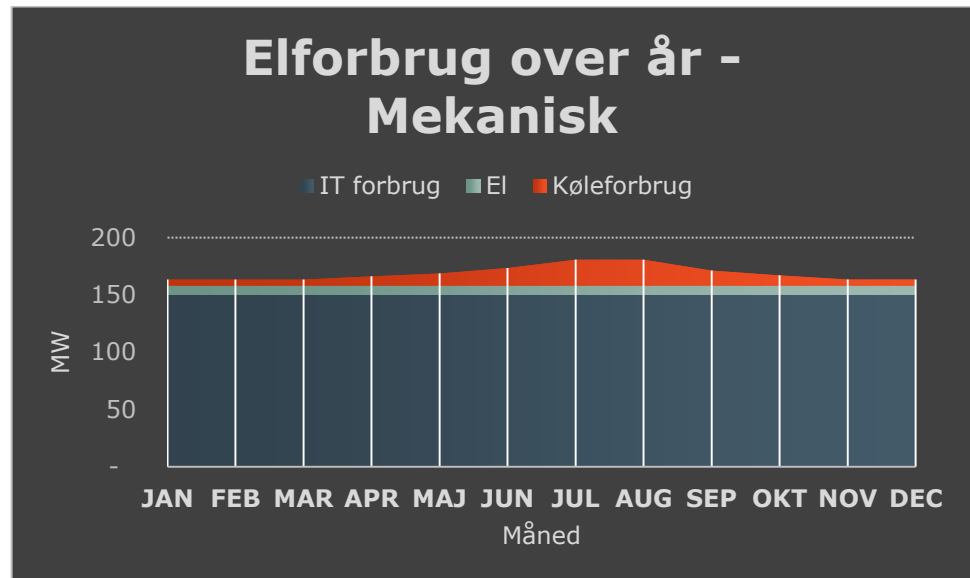
Indledningsvis ses der på driftsmønsteret for et HSDC hen over et år for at afdekke, hvordan elforbruget til køleanlægget varierer hen over året. Da det er køleanlæggets elforbrug, der varierer, er det køleanlæggets EER ved forskellige temperaturer, der er brugt til at finde forbruget. I diagrammet er også vist it-belastning og eltab, som holdes konstant. Temperaturerne, der er brugt som udgangspunkt, er ASHRAEs middeltemperaturer for de forskellige måneder over året for målestationen i Billund.

⁴ 150 MW el-forbrugseffekt på it-udstyr bruges som størrelsen på et "standard-HSDC" i resten af rapporten, da denne størrelse anses som repræsentativ. I praksis vil der kunne ses HSDC'er i andre størrelser, men COWI anser HSDC'er med mellem 3 og 7 moduler a 30-50 MW som realistiske størrelser i fremtiden.

⁵ 150MW * 95 % * 1,1 ≈ 160 MW

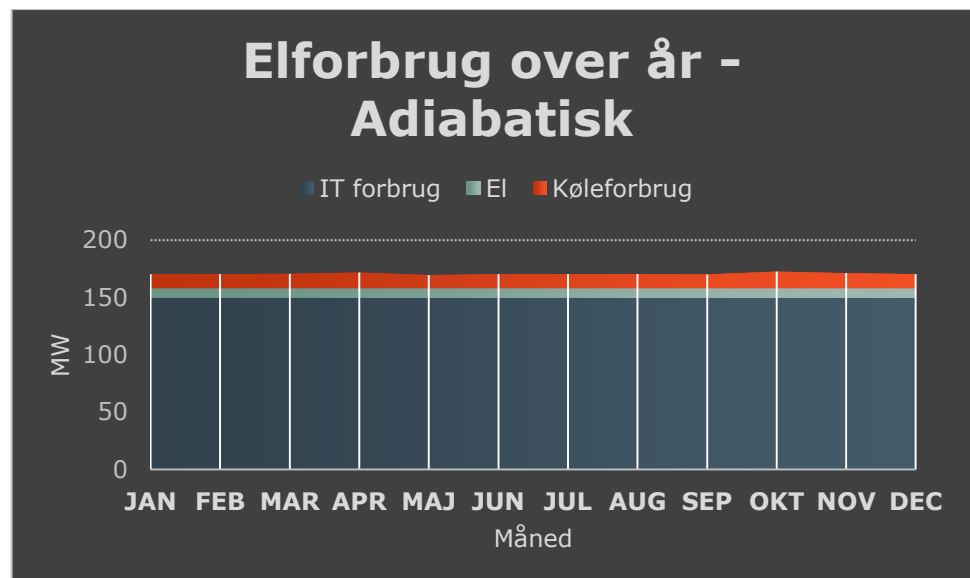
⁶ 150MW * 95 % ≈ 143 MW

Figur 4-1 Elforbrug hen over året – HSDC med mekanisk køleanlæg



Som det ses i diagrammet, er det i sommermånederne, at elforbruget til et HSDC med mekanisk køling vil være størst. Det skyldes, at der i denne periode ikke kan bruges frikøling, og kølemaskinen derfor har en lavere EER. Elforbruget til køling hen over året varierer fra 5 til 23 MW. Dvs. at der i den koldeste periode er et forbrug på 5 MW og i den varmeste periode er et forbrug på 23 MW. Der kan over et år være en forskel på 18 MW i elforbruget i dette eksempel.

Figur 4-2 Elforbrug hen over året – HSDC med adiabatisk køling

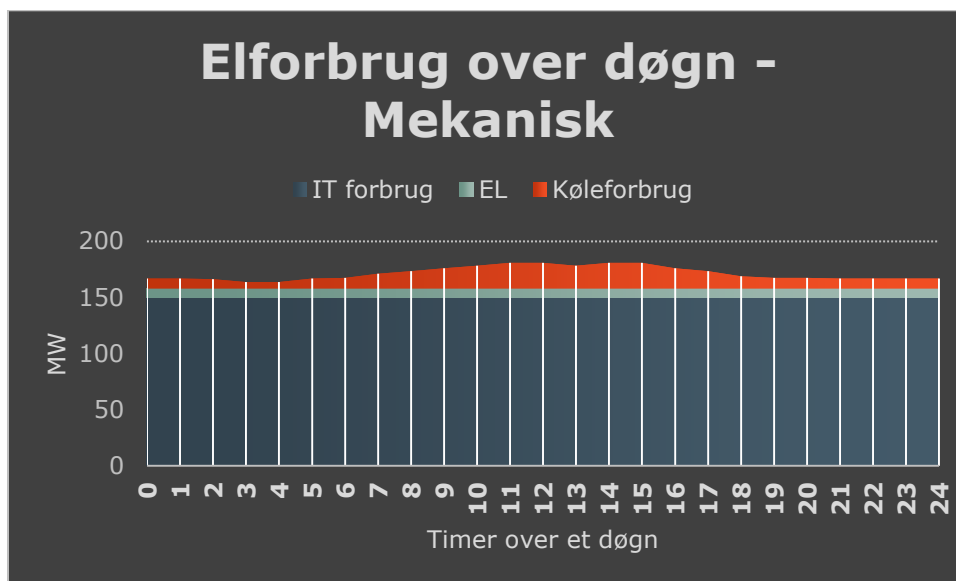


Hvis der anvendes adiabatisk køling, er der mindre variation i elforbruget over året. Elforbruget over året varierer fra 12 til 15 MW. Afhængig af udetemperaturen og behovet for tilførsel af vand til luften er der en variation over året på ca. 3 MW. Det skyldes, at temperaturen på luften sænkes ved at befugte den med vand. Derfor holdes elforbruget til kølingen nogenlunde konstant, idet der kun anvendes blæserenergi ved denne form for køling.

4.3 Driftsmønstre hen over et døgn

Da køleanlæggets ydeevne er afhængig af udetemperaturen, er der foruden variation over året også en variation over døgnet. Nedenstående diagrammer viser variationen over et forårsdøgn for mekanisk køling og adiabatisk køling. Graferne er udarbejdet på baggrund af temperaturerne fra DMI's DRY-dataregister⁷ for d. 31. maj 2006. Temperaturen for dette døgn varierer fra 5 °C til 16,7 °C.

Figur 4-3 Elforbrug hen over et døgn – mekanisk køling

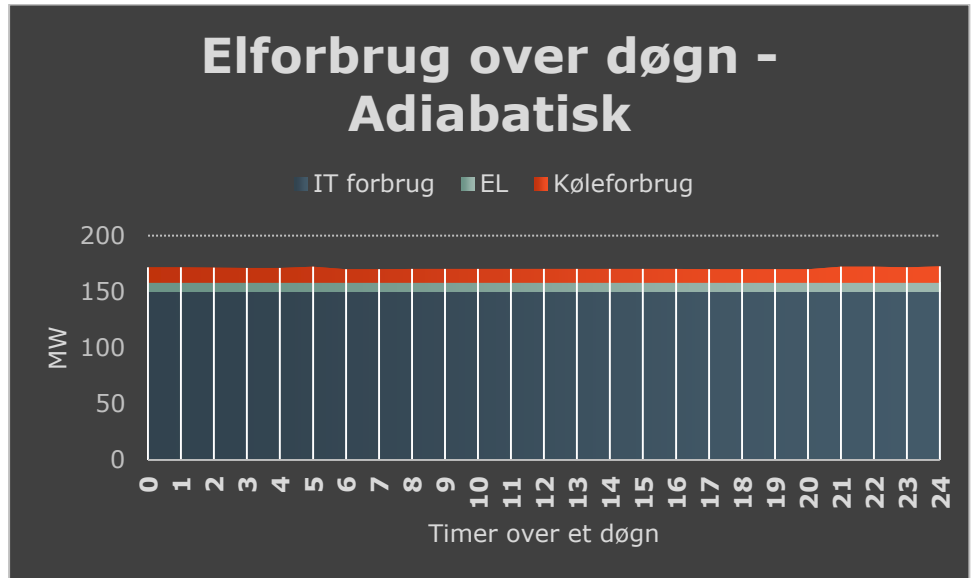


Diagrammet viser variationen over et døgn for et mekanisk køleanlæg.

For det mekaniske køleanlæg er der variationer hen over døgnet. For det valgte døgn varierer elforbruget fra 9 til 23 MW, fra den koldeste time til den varmeste time. Dvs. en variation på 14 MW over det valgte døgn.

⁷ <http://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr12-17.pdf>

Figur 4-4 Elforbrug hen over et døgn - adiabatisk køling



Diagrammet viser energiforbruget for et adiabatisk køleanlæg.

For det adiabatisk anlæg har elforbruget i løbet af døgnet i vid udstrækning en flad profil, idet der ikke er de store udsving i belastningen. Der er et lidt større forbrug om aftenen i det valgte døgn. Det skyldes, at temperaturerne her ligger under det punkt, hvor der er behov for spray af vand, og at energiforbruget til blæserne er større, når luften ikke befugtes med vand.

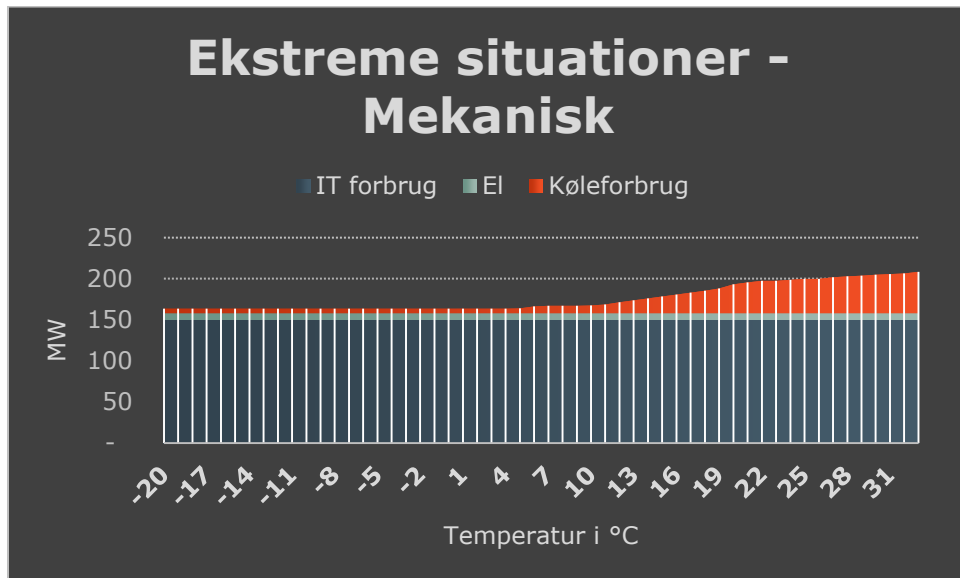
For det valgte døgn varierer fra elforbruget fra 12 til 15 MW, da det er afhængig af udetemperaturen og tilførslen af vandspray. Dvs. der er en variation på 3 MW hen over det valgte døgn. Da udsvingene er forholdsvis små i forhold til det samlede elforbrug, er der i de videre beregninger antaget en flad profil for elforbrug og overskudsvarmeproduktion.

4.4 Elforbrug i ekstreme situationer

Som vist i diagrammerne i afsnit 4.3 og 0 har temperaturen indflydelse på HSDC'ets elforbrug.

For et HSDC baseret på mekanisk køling er det derfor ekstrem varme, der vil have en indflydelse, da der kan frikøles, når det er køligt. Hvis HSDC'et er dimensioneret efter UPTIMEs standard, anvendes der et standardiseret design med hensyn til klimatiske faktorer. Nedenfor er udarbejdet et kort over vejrstationer, hvor ekstreme situationer for 5-, 10-, 20- og 50-års hændelser fremgår. Dette eksempel er baseret på vejrstationen i Billund med en 20-års ekstrem dimensionering. Her er maksimumtemperaturen 32,5 °C.

Figur 4-5 Elforbrug på HSDC med mekanisk køling i forskellige situationer

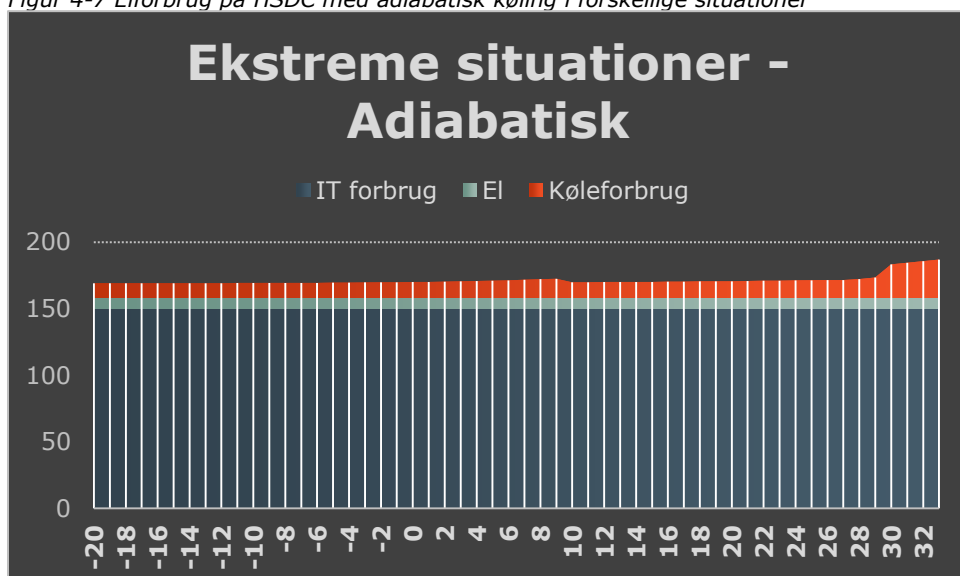


Da HSDC'et er designet efter denne temperatur, vil det i denne situation forbruge 195 MW, baseret på et elforbrug til it-udstyr på 95 % af designkapaciteten. Det tilsvarende minimale forbrug for et 150 MW-ækvivalent HSDC vil være ca. 146 MW, inkl. tab i forsyningsanlægget.

På kolde vinterdage kan temperaturen i et mekanisk kølet datacenter holdes stabilt på forskellige måder, som ikke medfører væsentlige ændringer i elforbruget. Ved adiabatisk køling recirkuleres større mængder luft internt i datacentret for at sikre, at temperaturen af tilgangsluften holdes stabil. Dette medfører heller ikke væsentlige ændringer i elforbruget.

Da adiabatisk køling på varme sommerdage foretages ved iblanding vand i luften vil elforbruget til køling ikke blive påvirket i væsentlig grad af udeluftens temperatur, dog viser nedenstående figur påvirkningen i ekstreme situationer.

Figur 4-7 Elforbrug på HSDC med adiabatisk køling i forskellige situationer

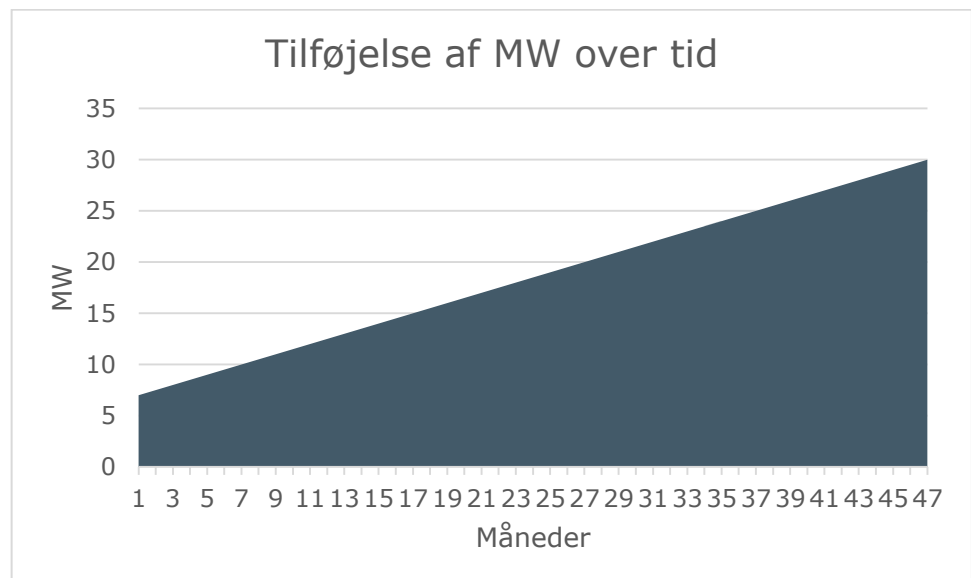


For et adiabatisk køleanlæg i de ekstreme situationer vil samme mønster gøre sig gældende. Elforbruget vil variere mellem de 12 og 15 MW, indtil temperaturen kommer op omkring 28 °C, herefter vil forbruget stige. Når temperaturen når 32,5 °C, vil forbruget være steget til ca. 28 MW.

4.5 Vækst i elforbrug fra HSDC'er

Et HSDC bliver bygget i etaper. Det totale elforbrug svarer derfor i begyndelsen ikke til det dimensionerede. Det tager tid både at udbygge datahallerne og at installere serverne til drift. Det er svært at sige, med hvilken hastighed operatørerne får installeret it-udstyr. Ifølge Apple har man for datacenteret i Viborg estimeret, at forbruget øges fra 7 til 30 MW fra 2019 til 2024⁸. Gennemsnitligt vil der være tale om en stigning på ca. 0,5 MW om måneden.

Figur 4-6 Tilføjelse af MW forbrugseffekt over tid for ét modul



Ser vi på Facebooks historiske udvidelser af deres datacentre, ses der en større variation i forøgelsen af elforbruget på deres datacentre. Data fra de tre datacentre i hhv. Forest City, Luleå og Prineville viser, at effektforøgelsen pr. måned gennemsnitligt varierer fra ca. 0,3 MW til ca. 1,17 MW⁹, afhængig af år og lokation.

Det må forventes, at HSDC-operatørerne vil søge at optimere på den tid, det tager at sætte nyt it-udstyr i drift, således at der i praksis vil ses langt kortere idriftsættelsestider om ganske få år. En hurtigere idriftsættelse af modulerne vil både hjælpe operatørerne til bedre forrentning af deres investerede kapital og bidrage til hurtigere at møde kapacitetskravet. Desuden opbygger operatørerne i disse år erfaringer med 'serie-idriftsættelse' af moduler. I analyserne bag denne rapport er der derfor antaget en toårig indfasning af serverne i hvert modul og

⁸ <https://ing.dk/artikel/to-spritsnye-vindmoelleparker-skal-drive-apples-datacentre-201670>

⁹ <https://fbsustainability.files.wordpress.com/2017/05/2016-facebook-sustainability-data-disclosure.pdf>

en gradvis seriel udbygning med fem moduler a hver 30 MW_{el} it-effekt, nedenstående tabel

Tabel 4-1 Indfasning af moduler og elforbrug i HSDC

År	Aktivitet	it-udstyr MW _{el}	Moduler årligt forbrug MWh _{el}
0	Beslutning		
1	Forberedelse		
2	Bygger datacenter udenom moduler		
3	Færdigbygger datacenter udenom moduler og starter byggeri af moduler		
4	Bygger moduler og starter installering af it-udstyr	1,25*30	=1,25*30*95%*1,1*8760
5	Installerer it-udstyr	3,75*30	=3,75*30*95%*1,1*8760
6	Færdiginstallerer it-udstyr	5*30	=5*30*95%*1,1*8760

Medregnes "beslutningsåret", tager det derfor i alt syv år, før et HSDC når sit fulde elforbrug.

4.6 Fjernvarmeproduktion

Når først it-udstyret er sat i drift, er dets forbrug nogenlunde konstant. Hvis varmen udledt i selve datahallerne kan konverteres til fjernvarme, vil den mængde fjernvarme, som HSDC'et kan levere, være konstant. Mængden af leveret fjernvarme vil stige i takt med, at størrelsen af HSDC'et vokser.

Erfaring fra traditionelle datacentre viser, at ydelsen fra it-udstyret kan variere på dagsbasis med op til 10 %. Da et HSDC har langt mere kontrol over alle processer og it-arkitekturen i opbygningen af datacentret, forventes det, at variationen i elforbrug på dagsbasis vil være betydeligt mindre, omkring +/- 5 %, hvilket vil betyde, at muligheden for genvinding af varme vil variere tilsvarende på dagsbasis.

4.7 Delkonklusioner på HSDC-driftsmønstre

Selvom der kan være udsving på elforbrug og overskudsvarmeproduktion fra etablerede HSDC'er kan det til analyseformål antages, at profilen herfor er flad over året og døgnet. Udsving i opadgående retning på overskudsvarmeproduktionen vil være sammenfaldende med varme dage, hvor varmen alligevel ikke kan udnyttes. Den egentlige usikkerhed i forhold til elforsyning og udnyttelse af overskudsvarme er derimod på udbygningstakten af de planlagte HSDC'er. Det er usikkert, hvor hurtigt der fyldes op med moduler, men også hvor hurtigt hvert enkelt modul fyldes op med servere, og dermed også hvor hurtigt elforbruget og overskudsvarmeproduktionen vokser.

5 Udvikling i verdens dataforbrug og antallet af datacentre

På trods af teknologisk udvikling, der sikrer bedre udnyttelse af it-udstyr som f.eks. virtualisering¹⁰, er elforbruget til datacentre over tid steget markant. I 2016 udgjorde energiforbruget til datacentre 3 % af verdens energiforbrug, svarende til energiforbruget for flyindustrien, og datacentre stod for 2 % af carbon footprint på verdensplan¹¹.

COWI har gennemgået litteratur om datamængder og datacentre i verden og konstateret, at de fleste artikler refererer til Ciscos' artikler på området.

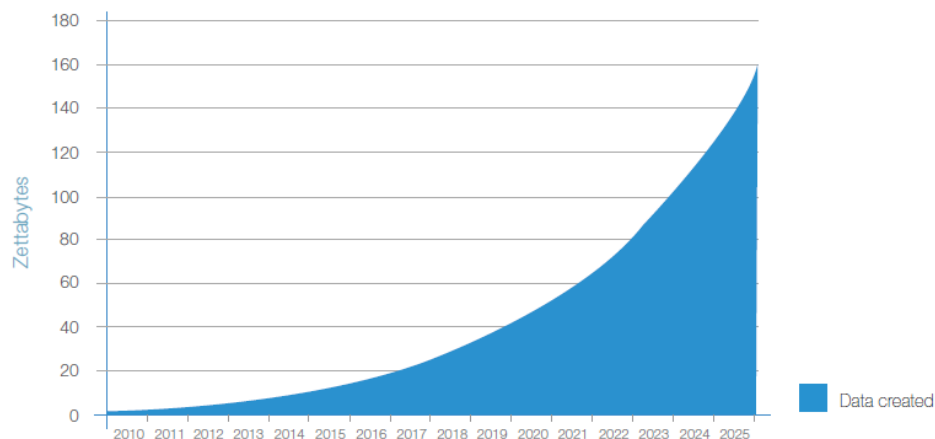
IDC (idc.com) er en anden kilde, som anvender en af de længste tidshorisonter til deres fremskrivninger. I IDC's rapport fra april 2017: "The Evolution of Data to Life-Critical", vises nedenstående graf:

¹⁰ Virtualisering adskiller software fra hardware ved at gøre software i form af styresystemer og applikationer uafhængig af hardwaren ved hjælp af virtualiserings-software. Adskillelsen af software og hardware betyder, at man kan få én fysisk server til at opføre sig som mange virtuelle servere og dermed kombinere flere forskellige it-ressourcer i form af styresystemer, storage og applikationer på denne enkelte fysiske server. Derved udnyttes it-udstyret mere effektivt, og det giver mulighed for bedre kontrol af servernes arbejdsbyrder, overskuelighed og skalerbarhed for it-operatøren.

¹¹ <http://www.independent.co.uk/environment/global-warming-data-centres-to-consume-three-times-as-much-energy-in-next-decade-experts-warn-a6830086.html>

Figur 5-1 IDC-fremskrivning af datamængder

Figure 2. Annual Size of the Global Datasphere



Source: IDC's Data Age 2025 study, sponsored by Seagate, April 2017

Analysevirkomheden IDC forudsiger en eksponentiel udvikling af data på globalt niveau. Disse datamængder er dog vanskelige at koble specifikt til antallet af HSDC, men IDC forudsiger, at andelen af data lagret på pc'ere, mobile enheder og underholdningsenheder vil falde fra 75% til 50% fra 2010 til 2025 og antallet af datacentre må derfor også på baggrund af IDC's tal formodes at være i kraftig vækst.

Det skal bemærkes, at Cisco i 2010 estimerede Annual Global Datacentre Traffic i 2015 til 4,8 ZB, som realiseredes til 4,7 ZB¹². Cisco må derfor vurderes at levere forholdsvis troværdige estimater for den underliggende driver vedrørende datacentre. Derfor tages der i resten af analysen udgangspunkt i Ciscos stigninger i datamængder, som dog vil blive tolket hhv. lineært og eksponentielt i forskellige scenarier.

¹² Cisco baserer deres vurderinger på deres viden som underleverandør til HSDC.

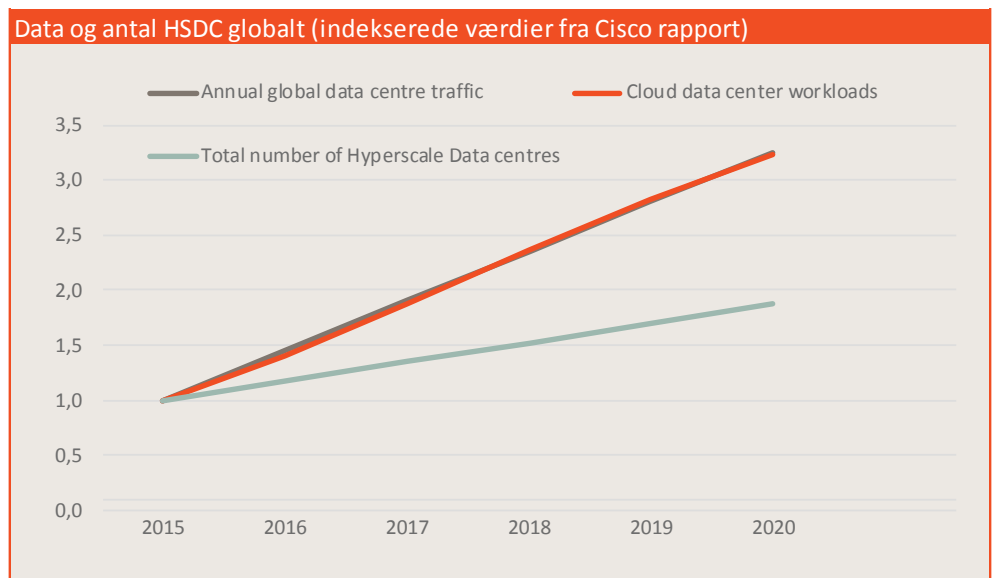
Tabel 5-1 Fremskrivninger af datamængder og antal HSDC

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Annual Global Data Centre traffic (ZB)	4,7	6,8	8,9	11,1	13,2	15,3
Cloud DC workloads in millions	136	190	225	322	383	440
HSDC (number)¹³	259	304	349	395	440	485

Kilde: Cisco Global Cloud Index 2015-2020.

Det fremgår, at datacentertrafikken og også workloads stiger noget hurtigere end antallet af HSDC'er, hvilket tydeliggøres af en indeksering af tallene ud fra 2015-niveau.

Figur 5-2 Indekserede datamængder og antal datacentre globalt¹⁴



Det fremgår af udviklingen for både datacentertrafikken og workloads, at der skal leveres væsentlig øget performance pr. datacenter, hvilket alt andet lige taler for større og større datacentre og øget brug af virtualisering. I bagvedliggende beregninger bruges udviklingen i workloads, da dette begreb dækker både lagring og behandling af data¹⁵ og da datatransporten er marginal i forhold til elforbruget i et datacenter¹⁶.

¹³ Cisco Cloud Index Forecast Citat: "Twenty-four hyperscale operators were identified using the preceding criteria. The data centers operated by these companies are what we consider as hyperscale. The hyperscale operator might own the data center facility, or it might lease it from a colocation/wholesale data center provider."

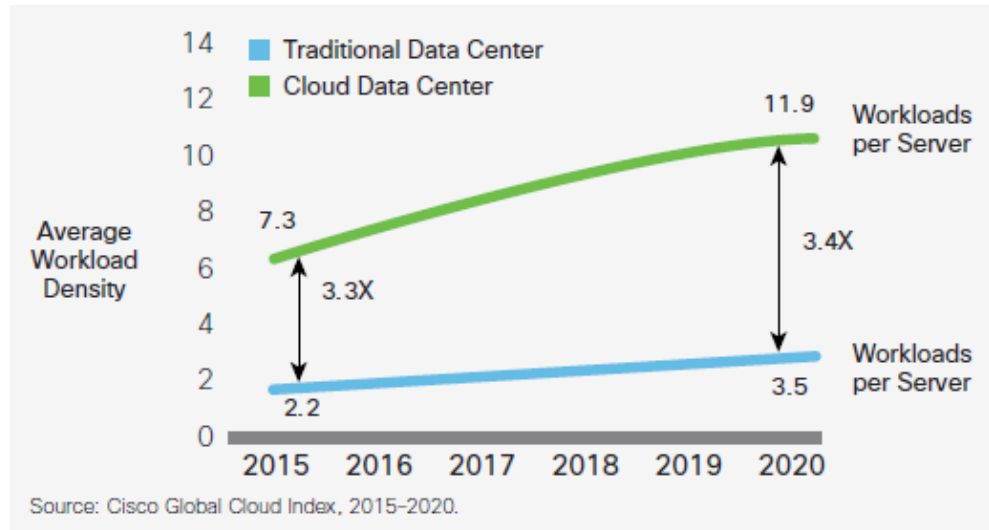
¹⁴ Indekserede tal fra Cisco Global Cloud Index 2015-2017

¹⁵ Jf. Cisco global cloud index 2015-2020, side 8

¹⁶ https://eta.lbl.gov/sites/default/files/publications/lbml-1005775_v2.pdf figur 21

Cisco har belyst den teknologiske udvikling inden for behandling af workloads i samme tidsrum, hvilket fremgår af følgende figur:

Figur 5-3 Workload density



Der ses en udvikling fra 7,3 til 11,9, svarende til indeks 1,6. Dette er ikke helt nok til, sammen med det øgede antal af datacentre, at dække det øgede behov for behandling af workloads. Da der ses en aftagende udvikling i antal workloads pr. server, må det antages, at kravet fra flere workloads til serverkapaciteten vil tage fart fra 2020. Dette vil kræve større datacentre, og denne tendens stemmer overens med COWIs kendskab til markedet.

Det har ikke været muligt at finde egnet litteratur om udviklingen i globale datamængder på lang sigt, hvilket er blevet bekræftet af henvendelser til de danske universiteter. Derfor har COWI udarbejdet fire scenarier for den fremtidige udvikling, hvor makrotrends i udviklingen af datamængder og effektiviteten i databehandling er kombineret med scenarier for valg af HSDC-placering i Danmark. Der henvises til Appendix A for en grundig gennemgang af de teknologiske trends, der forventes at drive udviklingen på dataområdet de kommende år.

Hovedantagelsen bag scenarierne er, at de udviklinger i workloads, som Cisco rapporterer i Global Cloud Index 2015-2020, fortsætter fremover og stiller øgede krav til verdens serverkapacitet, og at langt størstedelen af denne serverkapacitet i fremtiden vil komme fra HSDC'er¹⁷.

Der er flere drivere, der trækker de store HSDC-investorer til Europa. Dels udgør det europæiske marked en anseelig del af den samlede globale BNP¹⁸, dels er der aspirationen om at opnå ét "Digital Single Market" i EU¹⁹, der forventes un-

¹⁷ Cisco Global Cloud Index 2015-2020, Figure 1: Stigning i HSDC andel af serverkapacitet fra 21 % til 47 %, hvilket betyder, at hovedparten af ny kapacitet vil komme fra HSDC.

¹⁸ EU-28 udgør 23,8 % af verdens BNP jf.: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Share_of_world_GDP,_2004_and_2014.png

¹⁹ https://ec.europa.eu/commission/priorities/digital-single-market_da

derstøttet af den inter-europæiske persondataforordning (GDPR), der træder i kraft i maj måned 2018. Denne fordrer, at man behandler data fra europæiske borgere ensartet. Dette vil formentlig betyde, at teknologivirksomhederne med fordel kan styre dette med HSDC-placeringer i Europa. Derudover fremgår det af ovenstående, at teknologiudviklingen vil understøtte flere realtidsapplikationer, og her kommer latenstiden i data til at spille en rolle, og derfor vil udbydere søge at komme tæt på brugerne med udbudte tjenester understøttet af sikre redundante cloud regioner, f.eks. Europa. Det fremgår desuden af Ciscos artikler, at Europa har en forholdsvis stabil andel af datacentre på ca. 17 % stigende til 18,4 %.

I næste afsnit gennemgås fordelingen af HSDC'er i Europa, forklaret med score cards for de vigtigste lande. Der henvises til Appendix B for uddybende forklaring af valg af HSDC-lokaliteter i Europa.

Metoden er som før nævnt suppleret med scenarier, der varierer på udvikling i workloads i cloud datacentre (hhv. lineær og eksponentiel udvikling), servereffektivitet og dansk markedsandel.

5.1 Beregningsmetode trin for trin

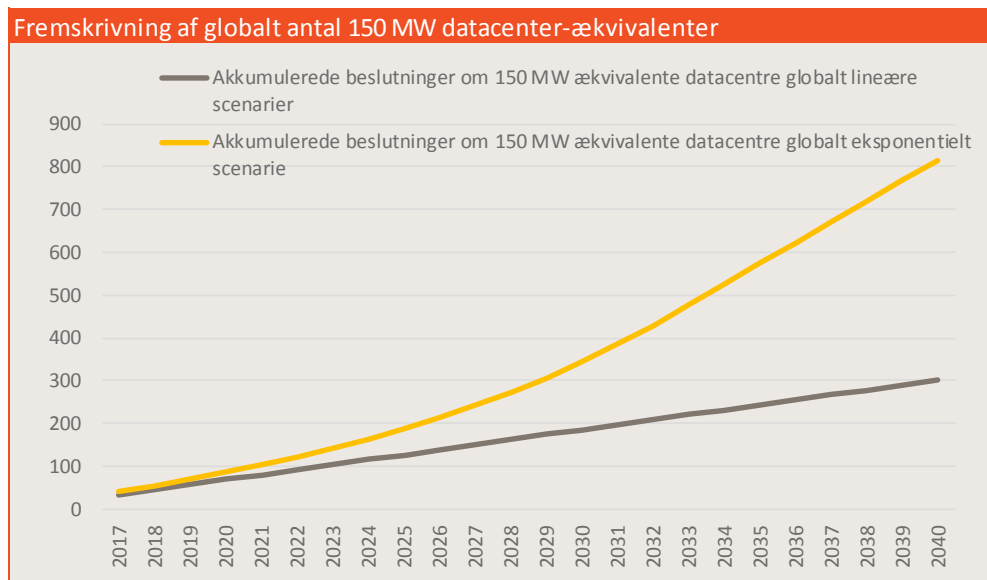
Dette afsnit beskriver trin for trin, hvordan antallet af globale hhv. europæiske 150 MW ækvivalente HSDC er udført. Se afsnit 6.1 for en sammenhængende gennemgang af hvert af scenarierne.

- > Analysen benytter Cisco Global Cloud index workloads frem til og med 2020.
- > Analysen opererer med to scenarier for udviklingen i workloads fra 2020 og frem. Lineær stigning på 60,8 millioner workloads årligt som i årene 2015-2020 hhv. eksponentiel udvikling på 20 %²⁰.
- > Average workload density bruges til at beregne, hvor meget serverkapaciteten bliver nødt til at stige for at kunne håndtere flere workloads. I årene 2015-2020 benyttes workload density jf. Figur 5-3 Workload density og fra 2020 benyttes uændret workload density.
- > I det eksponentielle scenarie vokser antallet workloads så kraftigt, at det vil medføre et stort pres på kapaciteten, hvorfor det antages, at alternativer til HSDC'er fra 2023 vil absorbere 10 % af den årlige tilvækst af workloads.
- > Ovenstående to punkter giver mulighed for at beregne indeks for globalt serverbehov.

²⁰ Cisco GCI 2015-2020 har CAGR 26 % fra 2015 til 2020, men det sidste år er stigningen kun 15 %. The Zettabyte Era: Trends and Analysis, Cisco VNI 2017 har for 2016-2021 24 % i CAGR for global IP traffic (det er ikke det same som workloads, men til gengæld er rapporten et år nyere)

- > Cisco har opgjort, at der i 2015 er 259 HSDC'er²¹, hvilket med antagelsen om, at de i gennemsnit har haft 25 MW eleffekt²² leder til, at det i 2015 har krævet en samlet el-effekt på 6,5 GW at behandle workloads og andre datacenter-services.
- > Denne krævede el-effekt er herefter fremskrevet med indeks for globalt serverbehov.
- > Under antagelse om at meget store datacentre relevante for denne rapport fra 2020 har 98 %²³ af markedet for cloud workloads, kan antallet af nye, påkrævede 150 MW-ækvivalente HSDC'er herefter beregnes på globalt plan.

Figur 5-4 Globalt antal HSDC'er



- > Herefter kan antallet af Europæiske HSDC'er beregnes ud fra 18,4 % af det globale marked og den danske andel herfra med markedsandel faldende fra 30 % til 15 %, herefter konstant. I et scenarie falder den danske markedsandel af nye datacentre til nul.
- > Da der er væsentlig 'latenstid' fra et datacenter er besluttet til, at det yder som et 150 MW ækvivalent HSDC, er beslutninger om nye HSDC'er lagt syv år, før behovet skal dækkes. Investeringerne indføres gradvis i denne peri-

²¹ Ciscos definition af HSDC matcher ikke 150 MW-ækvivalenter. Dette skyldes til dels, at Cisco definerer HSDC efter ejerskab og drift af datacentrene og ikke efter størrelse.

²² Da Cisco's opgørelser dækker over alle størrelse datacentre for hyperscale operatørerne er det vurderet at 25 MW er en gennemsnitsstørrelse, da tallet både dækker over færdigbyggede HSDC, HSDC under opførelse/delvis ibrugtaget samt mindre datacentre som HSDC operatørerne har etableret ifm. etablering af HQ/kontor.

²³ Antagelse på baggrund af stærkt stigende markedsandel for HSDC'er (Cisco Global Cloud Index 2015-2020 Figure 1), hvorfor meget stor del af ny kapacitet må komme fra et HSDC

ode til brug for samfundsøkonomiske beregninger, og elforbruget indføres gradvist startende tre år efter beslutningen.

Med udgangspunkt i ovenstående metode til beregning af HSDC'er på globalt og europæisk plan analyseres fordelingen i Europa med henblik på at fremskrive antallet af danske HSDC'er.

6 Fordelingen af antal datacentre i Europa

COWI har udarbejdet en analyse af de parametre, der er afgørende for HSDC-operatørernes valg af lokationer. Der henvises i øvrigt til Appendix B for uddybning af de metoder og forudsætninger, der er anvendt i analysen.

Det skal bemærkes, at parametrene hver især kan være 'showstoppere', hvis forholdene af HSDC-operatørerne vurderes som langt værre end i andre lande. Parametrenes vægte skal derfor tolkes som gældende, hvis forholdene landene imellem er nogenlunde sammenlignelige.

Den relativt ligelige vægtning skyldes COWIs erfaring med, at HSDC-operatørernes site selection-teams arbejder meget bredt i deres vurdering af sites. De kriterier, der er vægtet højest - 10 % - er dem, som COWI vurderer har været udslagsgivende for konkrete tilvalg eller fravalg af lande, mens de øvrige parametre, som vægtes 8,3 %, vurderes at få indflydelse i en samlet vurdering, hvis der ikke er udslagsgivende forskelle i de højest vægtede kriterier. Desuden vurderes de højest vægtede kriterier at være vanskelige at få indflydelse på for HSDC-operatørerne, mens de lavere vægtede kriterier enten kan håndteres af operatørerne eller vurderes i det lange løb at kunne påvirkes. F.eks. kan klima håndteres ved valg af køleløsning, og grøn energiforsyning og fiberforbindelser kan løses ved egne projekter, kapacitet på transmissionsnettet kan TSO'en udbygge over tid, hvis efterspørgslen er der. Egnede spots på transmissionsnettet og på flad mark vil operatørerne til en vis grad kunne betale sig fra, hvis det er en knap faktor. De højest vægtede kriterier er det vanskeligere at forestille sig, at operatørerne kan opnå indflydelse på.

Tabel 6-1 COWIs vurdering af scorecard indtil nu²⁴

Vægt		Ir	Se	NL/B	DK	Fi	Is	No	andre
10%	Skat	1	5	2	4	7	3	6	
10%	Erhvervsvenlighed	3	4	1	2	6	5	7	
10%	Stabilitet	5	1	6	2	7	4	3	
10%	Elpriser	6	3	7	5	4	1	2	
10%	Naturkatastrofer	1	4	1	1	4	7	4	
8,3%	Kapacitet og spots på transmissionsnet	1	2	4	3	6	5	7	
8,3%	Egnede placeringer (flad mark)	2	1	6	3	4	5	7	
8,3%	Fiberforbindelser	1	5	3	2	6	4	7	
8,3%	Grøn energiforsyning	7	1	4	2	5	6	3	
8,3%	Forsyningssikkerhed	7	3	5	1	6	4	2	
8,3%	Klima	6	4	7	5	3	1	2	
100%	Total	3,6	3,0	4,1	2,7	5,3	4,1	4,5	
100%	Procent tiltrukne datacentre	30%	20%	20%	30%	0%	0%	0%	0%

Det fremgår af kortlægningen, at HSDC-operatørerne har valgt Irland, Sverige, Danmark og Benelux. Valget af Irland kan delvist forklares med, at den lave selskabsskat har været med til at tiltrække europæiske hovedkvarterer for en række tech-virksomheder, hvilket har gjort det oplagt for aktørerne også at placere de første HSDC'er her. Irland scorer i øvrigt højt på transmissionskapacitet, fiberforbindelser og fravær af naturkatastrofer, som er nødvendige forudsætninger.

Disse forudsætninger er også opfyldt i Benelux-landene, Sverige og Danmark, som har tiltrukket den næste bølge af HSDC'er. Norge har endnu ikke været i stand til at tiltrække HSDC'er, formentlig pga. lav erhvervsvenlighed, dårlige fiberforbindelser og usikkerhed om beskatningsforhold. Island har tiltrukket en række små datacentre, først og fremmest pga. energirigelighed, men HSDC-operatørerne har fravalgt Island formentlig pga. risikoen for vulkanudbrud. I Finland opleves nærheden til Rusland som en risiko for, at der kan opstå politisk motiveret uro, og fiberforbindelserne er heller ikke blandt de bedste²⁵.

Udviklingen nu og fem år frem skyldes først og fremmest beslutninger i Norge om forbedring af fiberforbindelser til udlandet og ligeledes forventning om, at Norge vil afskaffe "Verk og Bruk"-skatten samt forbedre myndighedsbehandlingen.

²⁴ Scorecard dækker ikke de første år, hvor europæiske HSDC næsten udelukkende placeredes i Irland, men er i stedet en vurdering af markedsandelene de sidste ca. 4 til 5 år.

²⁵ Se afsnit 13 for uddybning af disse forhold og deres betydning.

Omvendt har HSDC-industrien på det seneste fået et dårligere indtryk af myndighedsbehandlingen i Irland og dermed erhvervsvenligheden, ligesom første bølge af placeringer tæt på europæiske hovedkvarterer kan være slut. Derudover er det sandsynligt, at man vil se en migration ud af de analyserede lande, for at opnå en spredning af risikoen. Det kan være til lande som Frankrig, Tyskland, Østrig m.v.

England kan også komme i betragtning afhængigt af, hvordan Brexit-forhandlinger falder ud. Her spiller eksempelvis forhold omkring persondataforordningen en stor rolle. Generelt har investorerne behov for at få afdækket mulige konsekvenser af Brexit.

Vi vurderer desuden, at risiko for vulkanudbrud på Island og Finlands nærhed til Rusland fortsat vil være showstopperne i forhold til placering af et HSDC, men at der dog i disse lande er mulighed for at tiltrække mindre datacentre.

Tabel 6-2 COWIs vurdering af scorecard om fem år²⁶

Vægt		Ir	Se	NL/B	DK	Fi	Is	No	andre
10%	Skat	1	5	2	6	7	4	3	
10%	Erhvervsvenlighed	7	3	1	2	6	5	4	
10%	Stabilitet	5	1	6	2	7	4	3	
10%	Elpriser	5	3	7	4	6	1	2	
10%	Naturkatastrofer	1	4	1	1	4	7	4	
8,3%	Kapacitet og spots på transmissionsnet	1	2	4	3	6	5	7	
8,3%	Egnede placeringer (flad mark)	2	1	6	3	4	5	7	
8,3%	Fiberforbindelser	1	6	3	2	5	4	7	
8,3%	Grøn energiforsyning	7	3	6	4	5	1	2	
8,3%	Forsyningsikkerhed	5	3	7	1	6	4	2	
8,3%	Klima	6	4	7	5	3	1	2	
100%	Total	3,7	3,2	4,5	3,0	5,4	3,8	3,9	
100%	Procent tiltrukne datacentre	15%	15%	10%	15%	0%	0%	10%	35%

Den analyse, som er grundlaget for de to scorecards, leder frem til følgende konklusion. Se i øvrigt Appendix B for uddybende forklaringer.

²⁶ Svarer til markedsandel i scenarier, hvor DK ikke fravælges. Se afsnit 6.1 for uddybning af scenarier.

- > Skandinavien er i centrum af udviklingen af både digital parathed og grøn omstilling -> stor tiltrækningskraft af HSDC'er
- > Skandinavien har de rigtige rammebetingelser for tiltrækning af investeringer i HSDC'er
- > Skandinavien er i top 3 blandt placeringer af HSDC i Europa. Danmark og Sverige leder an. Norge er p.t. udfordret primært på konnektivitet m.v.

6.1 Fire scenarier for udbygningen af HSDC'er i Danmark

Udviklingen i antallet af HSDC'er, som placeres i Danmark kan forløbe i flere scenarier. I dette afsnit præsenteres fire forskellige scenarier, inden for hvilke udbygningen af HSDC'er i Danmark kan ventes at finde sted.

Scenarierne er primært drevet af udviklingen i workloads, der skal håndteres i HSDC samt realisering af ændringer i de vigtigste forudsætninger og rammebetingelser for placeringen af HSDC'er i Danmark. De forudsætninger, som scenarierne bygger på, er beskrevet nærmere i kapitel 5 og 6 samt Appendix A og Appendix B.

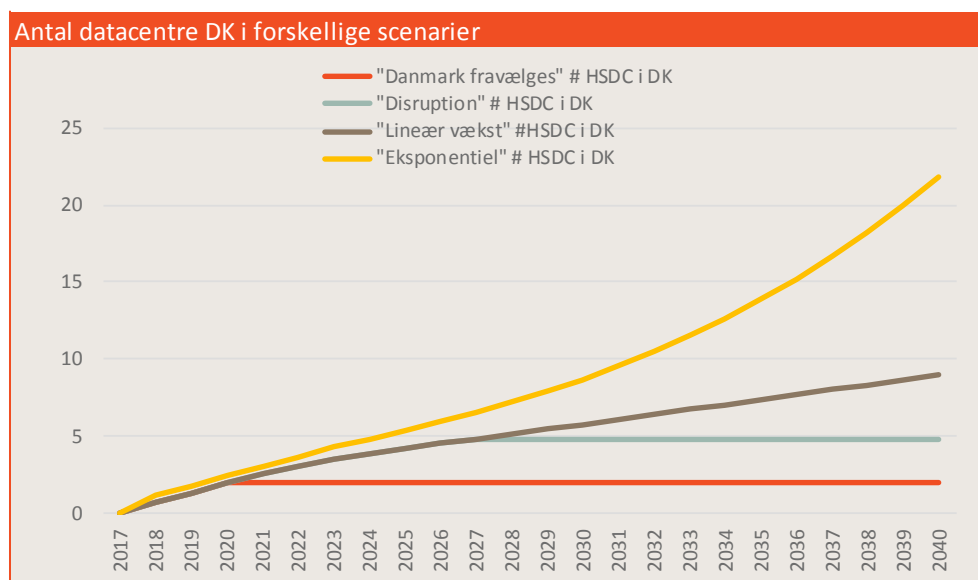
Scenarierne skal ikke nødvendigvis forstås som de mest sandsynlige eller eneste mulige udviklingsforløb for antallet af HSDC'er i Danmark, men skal i højere grad medvirke til at demonstrere, hvordan ændrede forudsætninger på forskellig måde kan påvirke udviklingen i antallet af HSDC'er i Danmark. I praksis vil udviklingen kunne lande et sted mellem eller udenfor de beskrevne scenarier – både hvad angår udviklingen i datamængder og i de øvrige underliggende faktorer.

Tabel 6-3 Scenarieoverblik

	Lineær vækst	Danmark fravælges	Disruption	Ekspontiel vækst
Vækst i workloads til HSDC'er	Lineær	Lineær	Lineær	Ekspontiel
Teknologisk udvikling	Ingen	Ingen	Disruptiv udvikling	Nogen effektivisering
DK markedsandel²⁷	30 % » 15 %	30 % » 0 %	30 % » 15 %	30 % » 15 %

Resultaterne af scenarierne er resumeret i nedenstående figur.

Figur 6-1 Resultat af fire scenarier for udvikling i antal HSDC 150 MW ækv. i Danmark²⁸

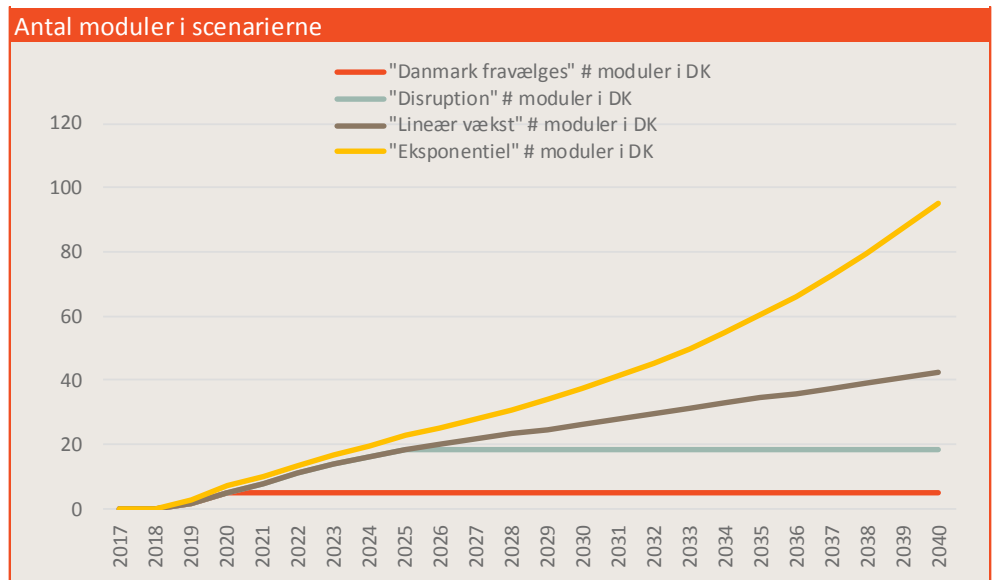


Et datacenter tager tid at opbygge. Derfor er der, hvis Danmark fravælges eller 'disruption' ændrer billedet, mulighed for, at etablerede HSDC'er ikke fyldes helt ud med moduler. Derfor ses dette billede i antal af moduler, dvs. enheder á 30 MW pr. stk.

²⁷ Udvikling fra nu til om ca. 5 år.

²⁸ Akkumuleret antal opførte datacentre. De nyeste datacentre på kurven dog ikke fuldt udbygget med moduler.

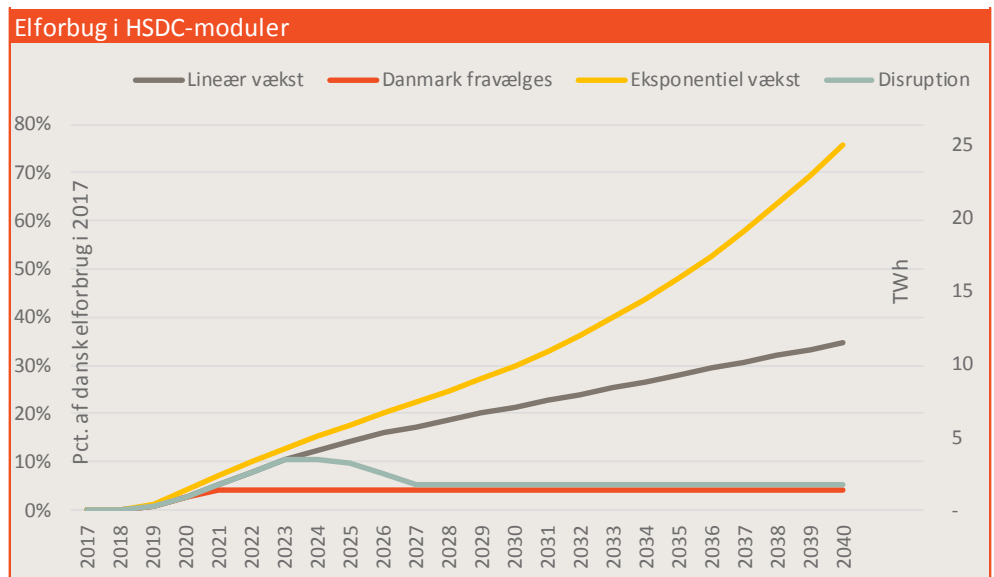
Figur 6-2 Resultat af fire scenarier for udvikling i antal moduler i Danmark



Det fremgår af de to figurer, at der på antallet af HSDC'er og moduler er meget stor forskel på scenarierne. Dette vil gå igen på alle de driftsrelaterede resultater, såsom antal beskæftigede og elforbrug i driftsfasen.

Datacentrene vil få betydning for det samlede danske elforbrug – i varierende grad alt efter scenarie. Ifølge Energinet udgjorde det samlede danske elforbrug ca. 33 TWh/år i 2017.

Figur 6-3 Elforbrug fra HSDC'er



6.1.1 Scenarie 1: Lineær vækst

Lineær vækst-scenariet baserer sig på, at de grundlæggende rammebetingelser for HSDC'er i Danmark fortsat udvikler sig til fordel for etablering af HSDC'er, med hensyn til politisk miljø, omkostningsniveau, "ease of doing business", energiforsyning mv.

I dette scenarie fastholder Danmark en relativt høj markedsandel af europæiske HSDC. Derudover antages det i scenariet, at teknologier som selvkørende biler, virtual reality, augmented reality og internet of things vil få datamængderne til at stige hurtigere end effektiviteten i datacentre og alternative datalagrings- og behandlingsteknologier.

Scenarie 1: Lineær vækst i antal af HSDC'er og fortsat høj dansk markedsandel, der understøtter udviklingen. Antallet af HSDC'er stiger i analyseperioden frem til 2040, hvor der er 9 datacentre i Danmark.

Lineær vækst benyttes som hovedscenariet, da der jf. Cisco Global Cloud Index 2015-2020 hidtil er set en lineær vækst i det globale antal af HSDC'er.

6.1.2 Scenarie 2: Danmark fravælges

'Danmark fravælges'-scenariet, der er det mest konservative af de fire scenarier, beskriver en situation, hvor opførelsen af HSDC'er i Danmark går i stå efter etableringen af to HSDC'er. I scenariet bliver de to HSDC'er heller ikke fuldt udnyttet.

Mere konkret betyder det, at en række centrale forudsætninger for væksten i antallet af HSDC'er i Danmark ændres. Med andre ord ligger der i scenariet en antagelse om, at nogle af de mønstre, der i øjeblikket ses vedrørende etableringen af HSDC'er i Danmark, ikke længere vil være gældende.

Nye initiativer og øget konkurrencedygtighed hos andre europæiske nationer

Det samlede billede for etableringen af HSDC'er i Danmark kan ændre sig, hvis øvrige nordiske eller europæiske lande tager nye initiativer, som ændrer den score, som COWI har udarbejdet for de øvrige relevante europæiske lande. Her tænkes især på internationale fiberforbindelser, mere smidig myndighedsbehandling (særligt vedrørende plan- og miljøforhold) eller indførelse af innovative energiløsninger, der gør det muligt at tilbyde en grøn/bæredygtig energiforsyning eller generel opgradering af elforsyningen med større forsyningsikkerhed til følge.

Hvis et eller flere lande begynder at tage initiativer på disse områder, som ikke matches af Danmark, kan det betyde, at etableringen af HSDC'er søger mod andre lande.

HSDC-operatørernes tillid til TSO

HSDC-operatørernes tillid til de nationale TSO'er²⁹ er afgørende for placeringen af HSDC'er. Hvis der ikke er tillid til, at elforsyningsstrukturen udbygges og vedligeholdes tilfredsstillende for HSDC-operatørerne, kan det betyde, at disse søger mod andre lokaliseringmuligheder.

²⁹ TSO betyder transmission system operator, svarende til Energinet.

Mindre 'ease of doing business'

Danmark har hidtil oplevet relativt smidige myndighedsbehandlingsforløb i forbindelse med planlægning af HSDC'er. De smidige forløb skyldes især, at det er lykkedes at finde lokationer, som ikke har medført særlige, planmæssige barrierer eller vakt folkelig modstand.

Der er ingen garanti for, at det altid vil være tilfældet. Et vanskeligt forløb, som Apple har oplevet i Irland, vil man også kunne komme ud for i Danmark, hvis borgere vælger at klage over beslutninger, som er truffet efter planloven. I det omfang HSDC-operatører er følsomme over for negativ offentlig omtale og oplever mindre ease of doing business, kan det påvirke beslutningsprocesserne.

Ingen nye søkabler

Endelig kan manglende realisering af forventede nye data-søkabler til den danske vestkyst vise sig at stille Danmark svagere i det samlede billede på dette område. En aflysning eller udskydelse af projekter kan få negativ effekt på kommende investeringer.

Scenarie 2: Danmark fravælges:

Alle overordnede globale og europæiske scenarier for HSDC'er fastholdes. Den samlede europæiske markedsandel fastholdes også, men den danske markedsandel af nye HSDC'er falder til nul.

Der etableres to datacentre frem til 2020, hvorefter der ikke etableres flere.

6.1.3 Scenarie 3: Disruption

Disruption-scenariet beskriver en situation, hvor den teknologiske udvikling inden for datalagring og datadistribution udvikler sig på en måde, så behovet for HSDC'er, som vi kender det i dag, reduceres markant.

Det må formodes, at væksten i datamængder vil sætte et meget stort pres på teknologiselskaber for at finde alternative veje til at lagre, transportere og behandle data på, da driften af mange HSDC'er vil betyde markant stigende omkostninger. På den anden side er det meget svært at vurdere, hvornår og med hvilken effekt, at nye effektive datahåndteringsmetoder sætter ind.

Forretningspotentialet i at tilbyde ydelser, som kræver stor datakapacitet, er meget stort, og markedet drives især af meget store, globale tech-selskaber, som Facebook, Apple, Google m.fl. Det betyder også, at der er meget store kræfter bag forskning og teknologiudvikling inden for reduktion af omkostninger.

Inden for andre teknologiske sektorer har det vist sig, at når de økonomiske interesser er store nok, kan man presse omkostningsreduktioner og/eller teknologiske spring igennem. Eksempler på dette er omkostninger og effektivitet inden for vindenergi, solenergi, batteriteknologi eller udviklingen af selvkørende biler. LED-belysning og varmepumper er lidt ældre eksempler.

Konkret kan det vise sig, at udbredelsen af 5G-mobilteknologi, blockchain-datahåndtering og kvantecomputere på lidt længere sigt vinder frem³⁰ og reducerer behovet for store HSDC'er³¹. Både 5G mobilteknologi og blockchain-teknologi betyder, at data i langt højere grad flyder frit og distribueres lokalt, men dog fortsat er sikrede mod uautoriserede ændringer.

Hermed kan behovet for HSDC'er falde eller stagnere; måske særligt på de områder, hvor datamængderne ventes at stige særligt meget, eksempelvis inden for selvkørende biler, internet of things, artificial intelligence mv.

Samtidig er det uvist om, og i hvilket omfang, der vil være reguleringsmæssige barrierer for brugen af disruptive datalagrings-teknologier, eksempelvis hvis man fra myndighedernes side ikke opfatter teknologierne som sikre nok.

Endelig indeholder dette scenarie også den mulige udvikling, at der fortsat vil være brug for centraliserede HSDC'er, men at teknologien i disse udvikles i retning af mere effektivt energiforbrug i forhold til behandlede datamængder. Derfor er det i dette scenarie antaget, at elforbruget pr. modul falder til en tredjedel i løbet af årene 2023-2027. Denne udvikling må forventes, men hastigheden i teknologiudviklingen er vanskelig at forudsige.

Det er vigtigt at gøre opmærksom på, at der ikke på nuværende tidspunkt er en markedsmoden teknologi, som taler for, at efterspørgslen på HSDC'er eller energiforbruget vil begynde at falde på kort sigt.

Scenarie 3: Ny teknologi og effektivisering disrupter HSDC-markedet. Der etableres fem HSDC'er frem til 2027, hvorefter der ikke etableres flere. Elforbruget i datacentre falder, fordi effektiviteten af serverne stiger.

6.1.4 Scenarie 4: Eksponentiel vækst

Eksponentiel vækst-scenariet baserer sig på, at de grundlæggende rammebetingelser for HSDC'er i Danmark fortsat udvikler sig til fordel for etablering af HSDC'er med hensyn til politisk miljø, omkostningsniveau, ease of doing business, energiforsyning mv.

I dette scenarie fastholder Danmark en relativt høj markedsandel af europæiske HSDC'er. Derudover antages det i scenariet, at teknologier som selvkørende biler, virtual reality, augmented reality og internet of things vil få datamængderne til at stige eksponentielt og hurtigere end effektiviteten i datacentre og alternative datalagrings- og behandlingsteknologier.

³⁰ Blockchain er en teknologi, som tilbyder at spore dataelementer eller transaktioner ved hjælp af en fælles digital "hovedbog". Blokke af nye transaktioner tilføjes i slutningen af kæden, og kryptering sikrer, at data forbliver ubrudte.

³¹ Der er dog også mulighed for at de nye muligheder, som 5G og blockchain giver, betyder større behov for HSDC, selvom teknologierne også rummer et potentiale for at fortrænge HSDC.

Scenarie 4: Eksponentiel vækst i antal af HSDC'er og fortsat høj dansk markedsandel. Antallet af HSDC'er stiger i analyseperioden frem til 2040, hvor der er 22 datacentre i Danmark.

7 Potentiale vurdering af overskudsvarme

HSDC'ernes store elforbrug genererer en stor mængde varme. Temperaturen fra et HSDC er dog væsentlig lavere, end hvad der er behov for i traditionelle fjernvarmesystemer, men ved brug af varmepumper kan temperaturen hæves til et niveau, der kan bruges til fjernvarmeformål. Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er til fjernvarmeformål afhænger af en række parametre. De mest væsentlige er:

- > Hvad er prisen for den varme, der skal fortrænges (konkurreres med) hos fjernvarmeselskabet?
- > Hvad er omkostningerne forbundet med etablering af varmepumper og transmissionsledning fra et HSDC til fjernvarmesystemet?
- > Hvad er omkostningerne forbundet med produktionen af varme til fjernvarmeformål (el, afgifter m.v.)?
- > Hvad er temperaturforholdene og dermed COP'en (Coefficient Of Performance, som angiver forholdet mellem den varme, man får, og den mængde el, der anvendes)?

For at vurdere potentialet for udnyttelse af overskudsvarme til fjernvarmeformål er der udvalgt en række relevante placeringer af HSDC'er. For hver af disse placeringer er der udvalgt en række fjernvarmeselskaber, hvor det vurderes at være relevant at indpasse overskudsvarme. For hvert af de udvalgte selskaber har COWI vurderet det enkelte fjernvarmesystems potentiale for indpasning af overskudsvarme. Til sidst er potentialet opskaleret i forhold til udbygning af HSDC'er i Danmark.

7.1 Udvalgelse af placeringer til HSDC'er

Når HSDC-operatørerne vælger at placere HSDC i Danmark, tegner der sig indtil nu et billede af, at de placerer sig nær de største transformatorstationer, dog således at HSDC'erne etablerer deres egne transformatorstationer. Det antages i denne analyse, at dette mønster vil fortsætte. Derudover er nærhed til fiberforbindelserne af afgørende betydning, men det vurderes, at operatørerne lettere

selv kan påvirke denne del af infrastrukturen end eltransmissionsnettet, hvor de største transformatorstationer er placeret.

Placering af HSDC'er kan medføre omkostninger til netudbygning, hvilket ikke er belyst i denne rapport. Energinet planlægger desuden kontinuerligt netudbygning i øjeblikket, f.eks. vedrørende forbindelse til UK. Sådanne forhold er heller ikke belyst i denne rapport. Det vil kræve yderligere analyser med betydeligt input fra Energinet at belyse dette tilstrækkeligt klart.

I udvælgelsen af placeringer til HSDC'er er der taget udgangspunkt i transformerstationer på henholdsvis 150 og 400 kV. En anden parameter er elprismrådet, og her er Østdanmark (DK2) fravalgt, jf. de hidtidige valg af lokationer i Vestdanmark (DK1). Dette betyder ikke, at en placering af HSDC'er på DK2 i praksis er utænkelig, men blot at denne analyse fokuserer på det mønster i HSDC-placeringer, der hidtil er set.

Der er med dette udgangspunkt fundet ni placeringer til HSDC'er:

- > Vester Hassing
- > Tjele (her planlægger Apple et HSDC)
- > Trige
- > Malling
- > Landerupgård (Google har købt grund)
- > Fraugde (her planlægger Facebook et HSDC)
- > Idomlund
- > Endrup
- > Kassø (her planlægger Apple et HSDC og Google har købt grund).

Placeringerne af disse transformerstationer er vist på nedenstående figur.

Figur 7-1 Oversigt over udvalgte transformerstationer



Den valgte tilgang vurderes at være brugbar, da fire af de ni valgte placeringer (Tjele, Fraugde, Kassø og Landerupgård) netop er de fire placeringer, der er i spil for de fem offentligt udmeldte HSDC-projekter – hvoraf der for nogle dog stadig kun er tale om et grundkøb, mens andre er længere i projekteringen og myndighedsbehandlingen.

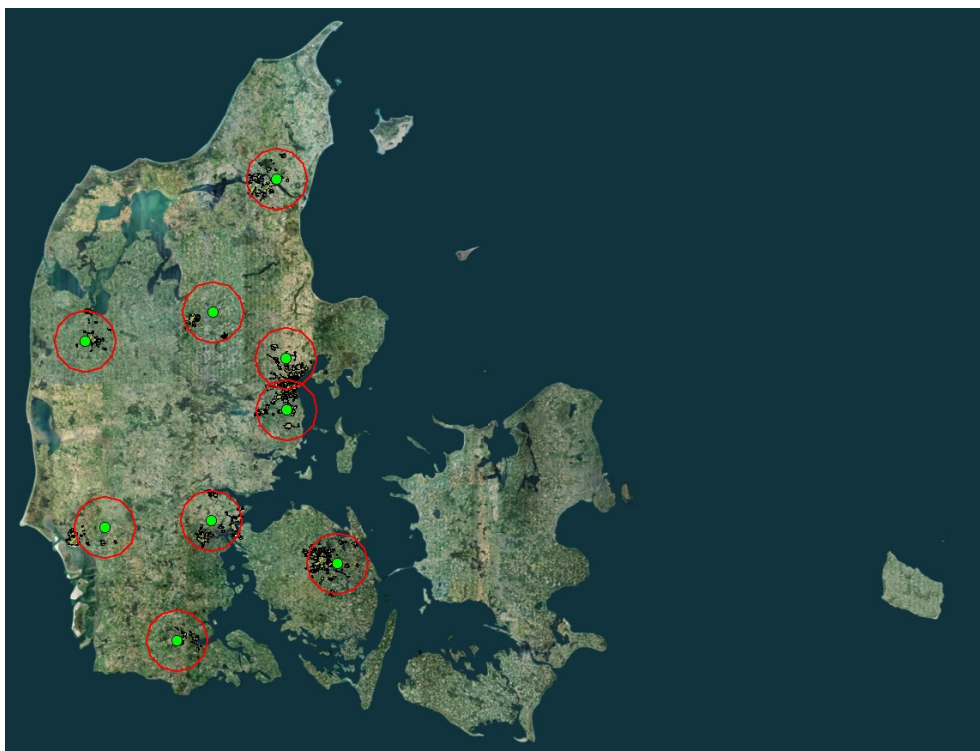
7.2 Udvalgelse af fjernvarmesystemer

En af de faktorer, der kan have stor betydning for, hvorvidt udnyttelse af overskudsvarme er rentabelt, er afstanden fra et HSDC til fjernvarmesystemet – dvs. længden af varmetransmissionsledningen. Etableringsomkostningerne for en transmissionsledning kan være betydelige og skal ses i sammenhæng med, hvor meget varme det enkelte fjernvarmenet kan aftage.

Der er udarbejdet to overordnede kriterier i forbindelse med udvælgelsen af fjernvarmesystemer. Det ene er, at afstanden til fjernvarmesystemet fra et HSDC ikke overstiger 15 km. Det andet er, at spidslasteffekten af det enkelte fjernvarmesystem er større end 10 MW.

Nedenstående figur viser placeringerne af transformerstationerne, en buffer på 15 km rundt om transformerstationerne, samt de fjernvarmeforsynede områder inden for afstanden på de 15 km med et spidslasteffektbehov på mindst 10 MW. De fjernvarmeforsynede områder er hentet fra Plansystem.dk.

Figur7-2 Oversigt over udvalgte transformerstationer, buffer på 15 km rundt om transformerstationerne samt de fjernvarmeforsynede områder inden for bufferne med et spidslasteffektbehov på mindst 10 MW.



De udvalgte fjernvarmesystemer er:

- > Aarhus Fjernvarme
- > Odense Fjernvarme
- > Aalborg Fjernvarme
- > TVIS
- > Esbjerg-Varde Fjernvarme
- > Holstebro-Struer Fjernvarme
- > Viborg Fjernvarme
- > Aabenraa-Rødekro-Hjordkær Fjernvarme
- > Bjerringbro Fjernvarme
- > Hinnerup Fjernvarme
- > Hadsten Fjernvarme
- > Ringe Fjernvarme
- > Hjallerup Fjernvarme.

De udvalgte fjernvarmesystemer omfatter således de centrale områder i Aarhus, Odense, Aalborg, TVIS og Esbjerg. Hertil kommer yderligere otte mindre fjernvarmesystemer.

7.2.1 Gældende lovgivning

Ved vurderingen af fjernvarmemarkedet skal man være opmærksom på, at varmepumpesystemer på mere end 1 MW som udgangspunkt ikke kan godkendes til varmeforsyning i områder med centrale kraftvarmeanlæg, jf. projektbe-

kendtgørelsens (BEK nr. 825 af 24/06/2016) § 13. I disse systemer vil der derfor skulle søges om dispensation, jf. § 30 i projektbekendtgørelsen. Det er i denne rapport antaget, at der kan opnås dispensation. Muligheden for dispensation er ikke yderligere belyst i denne rapport.

7.3 Potentiale for udnyttelse af overskudsvarme i de udvalgte områder

For hvert af de udvalgte fjernvarmeområder er der estimeret en række nøgletal: afstand, varmebehov maks. (spidslasteffektbehov) og varmebehov (varmeproduktion). Data fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 7-1 Oversigt over relevante fjernvarmesystemer, afstande og varmebehov.

Fjernvarmesystem	Transformerstation	Afstand [km]	Varmebehov, maks. [MW]	Varmebehov [MWh]
Aarhus Fjernvarme	Trige og Malling	10	980	3.323.000
Odense Fjernvarme	Fraugde	5	780	2.646.000
Aalborg Fjernvarme	Vester Hassing	4	563	1.910.000
TVIS	Landerupgård	10	518	1.756.000
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Endrup	16	344	1.167.000
Holstebro-Struer Fjernvarme	Idomlund	4	159	538.000
Viborg Fjernvarme	Tjele	10	97	329.000
Aabenraa - Rødekro - Hjorkær Fjernvarme	Kassø	9	84	284.000
Bjerringbro Fjernvarme	Tjele	14	27	91.000
Hinnerup Fjernvarme	Trige	5	25	86.000
Hadsten Fjernvarme	Trige	8	22	74.000
Ringe Fjernvarme	Fraugde	8	19	64.000
Hjallerup Fjernvarme	Vester Hassing	12	13	44.000

Det vil ikke være tilstrækkeligt at måle afstanden fra transformerstationen til der, hvor fjernvarmesystemet starter. Især for de store systemer vil det kræve, at man kommer et stykke ind i systemet, før man kan forvente at kunne indpasse store mængder varme (~100 MW). Da den hydrauliske indpasning i systemerne ikke undersøges i denne analyse, er indpasningsstedet i fjernvarmesystemet skønnet.

Spidslasteffektbehovet er estimeret på baggrund af data om årlig varmeproduktion samt en standardvarighedskurve. Spidslastbehovet bruges her primært til fravælgelse af de små systemer.

Varmebehovet er hentet fra energiproducenttællingen og repræsenterer den samlede varmeproduktion til det valgte fjernvarmesystem.

For de valgte systemer er det vurderet, hvor stort potentialet er for indpasning af overskudsvarme for de 13 valgte fjernvarmesystemer.

Undersøgelsen er lavet for hhv. de fem centrale systemer (Aarhus, Odense, Aalborg, TVIS og Esbjerg) og for de otte ikke-centrale systemer. For alle 13 systemer er der estimeret en overskudsvarmepris. For de centrale systemer er der fastsat en mulig indpasning på 200 MW. For de ikke-centrale systemer er der lavet en iterativ undersøgelse, hvor kapaciteten af overskudsvarmeleverancen og overskudsvarmeprisen justeres for at få en passende størrelse af leverancen.

Den iterative proces er nødvendig, da et større aftag giver en lavere overskudsvarmepris, og en lavere overskudsvarmepris giver bedre muligheder for at modtage overskudsvarme (overskudsvarmen bliver konkurrencedygtig med billigere anlæg).

Overskudsvarmeomkostningerne er i høj grad afhængige af:

- > Investeringsomkostninger i transmissionsledning: Her bliver omkostning pr. MW lavere ved større transmissionsledningskapacitet.
- > Investeringsomkostninger i varmepumper: Her bliver omkostning pr. MW lavere ved større varmepumpekapacitet.
- > Omkostninger til el: Her indregnes omkostninger til spotpris, transport samt elvarmeafgift. PSO er ikke indregnet. Elvarmeafgiften forudsættes reduceret til 150 kr./MWh, som der er lagt op til i seneste politiske udspil.
- > Overskudsvarmeafgift: Overskudsvarmeafgiften er afhængig af vederlaget. Da det indtil videre med de kendte datacentre er forventningen, at overskudsvarmen gives bort, bliver vederlaget 0. Indtil videre har SKAT lagt overskudsvarmeafgiften på de omkostninger, der er forbundet med udnyttelsen af overskudsvarmen. Dette omfatter således alle omkostninger forbundet med udnyttelsen af overskudsvarmen (etablering samt drift og vedligeholdelse af varmepumpeanlæg, vekslere m.v.). Det er forudsat, at grænsen går ab varmepumpesystem/an transmissionsledning.

Enkelte har fået godkendelse til ikke at betale denne overskudsvarmeafgift. Det er i analysen forudsat, at godkendelserne danner præcedens, at der således ikke betales afgift, og at der ikke vil være nogen omkostninger forbundet med overskudsvarmeafgift i hovedscenariet. Analysen suppleres med to følsomheder. I den ene følsomhed betales der overskudsvarmeafgift af omkostningerne forbundet med udnyttelsen af overskudsvarmen til fjernvarmeformål. I den anden følsomhed regnes med en overskudsvarme-

afgift på 22,8 kr./GJ for al den varme, der udnyttes fra datacentret, jf. oplægget i Afgifts- og tilskudsanalysens delanalyse 5 om nyttiggørelse af overskudsvarme. I overensstemmelse med gældende regler pålægges overskudsvarmeafgiften i begge følsomheder kun den del af COP'en, der er over 3. Hvis COP'en således er 6, vil kun halvdelen af investeringsomkostningerne pålægges overskudsvarmeafgift og tilsvarende til halvdelen af overskudsvarmemængden ved brug af de 22,8 kr./GJ.

7.3.1 Indpasning i de centrale systemer

Det forventes, at de fem centrale systemer i Aarhus, Odense, Aalborg, Esbjerg samt TVIS alle har mulighed for at modtage meget store mængder overskudsvarme set i forhold til mængden af overskudsvarme fra et HSDC.

I såvel Aarhus som i TVIS er der dog nyligt idriftsat nye store biomasseværker, hvilket reducerer mulighederne for indpasningen. Der vil stadig være noget varme, der kan fortrænges, men det bliver i kortere perioder af året, end hvis overskudsvarmen kunne indpasses som grundlast.

Det er forudsat i alle de centrale systemer, at der maksimalt kan indpasses overskudsvarme fra et 150 MW HSDC. Når det er valgt at sætte en øvre grænse på dette niveau, skyldes det en antagelse om, at systemerne kun i et vist omfang kan være afhængige af overskudsvarme fra en tredje part, der som udgangspunkt har muligheden for at lukke for forsyningen af varme. De 150 MW er valgt, da dette niveau også anvendes til at definere størrelsen af et almindeligt HSDC. Som det fremgår af afsnit 4 vil et datacenter med it-effekt på 150 MW_{el} i gennemsnit bruge ca. 160 MW el. Hertil kommer, at den el, der anvendes i varmepumperne, skal tillægges de 160 MW. Den samlede varmeeffekt fra varmepumperne forventes således at være ca. 200 MW.

Der er forudsat et varmepumpesystem bestående af tre trin. Varmekilden (overskudsvarmen) forudsættes reduceret fra 30 °C til 20 °C. Frem- og returtemperaturen i transmissionsledningssystemet er forudsat til hhv. 65 °C og 40 °C. Det giver en COP på 5,7.

Det er muligt, at de store systemer kan finde rentable projekter, hvor større mængder overskudsvarme indpasses i systemerne. Det vurderes dog, at selskaberne ikke ønsker at aftage væsentligt mere end de 200 MW, da der også er en betydelig risiko forbundet med projekterne. Risici ligger især i tilbagebetalingen af investeringerne i varmepumper og transmissionsledning.

Det vurderes at være muligt at fortrænge fossile brændsler med overskudsvarme i de centrale områder, men ikke varme fra solvarme, anden overskudsvarme samt varme fra affaldsforbrændingsanlæg. For de centrale systemer vurderes det desuden ikke at være muligt at fortrænge varme fra biomasseværker. For de ikke-centrale systemer medtages biomasseværker i analysen på lige fod med andre anlæg (naturgas m.v.). Det vurderes dog, at det ligeledes her ikke er muligt for overskudsvarmen at konkurrere med biomassevarme. Dette skyldes i høj grad, at overskudsvarmen skal konkurrere med allerede etablerede anlæg. Mu-

lighed for udnyttelse af overskudsvarme kan derimod godt medføre, at man undlader at etablere ny biomassekapacitet.

7.3.2 Indpasning i ikke-centrale systemer

For de ikke-centrale systemer vurderes potentialet for indpasning af overskudsvarme fra datacentre ud fra estimerede varmeproduktionspriser og anlægsforudsætninger fra energiproducenttællingen.

7.3.3 Potentiale vurdering

Når kapaciteten af overskudsvarme (eksempelvis 200 MW) for de centrale systemer er fastsat, findes for hvert fjernvarmesystem den estimerede varmeproduktion fra overskudsvarme, der kan indpasses ved denne kapacitet. Der tages her højde for, at varmeforbruget varierer over året med udetemperaturen, og at muligheden for at udnytte overskudsvarme om sommeren således er ringere end om vinteren.

COWIs vurdering af mulighederne for indpasning af overskudsvarme fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 7-2 Oversigt over muligheder for indpasning af overskudsvarme i de udvalgte fjernvarmesystemer.

Fjernvarmesystem	Kapacitet af overskudsvarme [MW]	Udnyttelse af overskudsvarme [MWh]
Centrale systemer	700	2.962.000
Ikke-centrale systemer	101	465.000

Det er vigtigt at bemærke, at der er taget udgangspunkt i energiproducenttællingen. Der er således ikke taget højde for planlagte anlæg/anlæg under etablering og planer om udbygning af fjernvarmeforsyningen. Hertil skal det understreges, at der er tale om en overordnet analyse, og at der kan være andre lokale forhold, der ikke indgår i analysen.

Det vurderes, at de store centrale systemer, hvor kulbaseret varmeproduktion er dominerende (Aalborg, Odense og Esbjerg) kan udnytte store mængder overskudsvarme. I de centrale systemer, hvor biomassebaseret varmeproduktion er dominerende (Aarhus og TVIS), forventes det kun at være muligt at indpasse et mindre potentiale. De ikke-centrale systemer er udfordret på de relativt store omkostninger til transmissionsledninger. Som nævnt tidligere er det forudsat, at overskudsvarmen skal konkurrere med allerede etablerede anlæg. De samlede omkostninger til etablering og drift af varmepumper, transmissionsledning m.v. ved udnyttelse af overskudsvarme skal således sammenlignes med de variable varmeproduktionsomkostninger. Hvis udnyttelsen af overskudsvarme i stedet blev sammenlignet med etablering af et nyt anlæg vil det gøre overskudsvarme væsentlig mere konkurrencedygtig.

Af de udvalgte ikke-centrale systemer vurderes det rentabelt at udnytte overskudsvarmen i forbindelse med fire af de otte fjernvarmesystemer.

7.3.4 Følsomheder

Som nævnt er der lavet to følsomhedsanalyser, hvor overskudsvarmen fastsættes på baggrund af hhv. omkostningerne forbundet med udnyttelsen af overskudsvarmen og en overskudsvarmeafgift på 22,8 kr./GJ.

Scenariet "Lineær vækst" benyttes til beregning af følsomhederne. Af det samlede potentiale på 8,2 TWh overskudsvarme fra HSDC (i 2030) er det realiserbare potentiale beregnet til ca. 3,4 TWh. Heraf udgør potentialet ca. 465 GWh i gruppen af ikke-centrale systemer. Ved afgiftspålæggelse viser analysen, at udnyttelse af overskudsvarme kun bliver rentabelt i to af de otte ikke-centrale fjernvarmesystemer. Potentialet reduceres således til ca. 399 GWh. Dette gælder for begge nævnte følsomheder.

7.4 Potentiale for udnyttelse af overskudsvarme i Danmark

For de ni valgte placeringer til datacentre er det vurderet, at overskudsvarme kan indpasses i otte af dem. Mængden af overskudsvarme, der kan indpasses, varierer fra placering til placering.

Udnyttelsen af overskudsvarme er væsentlig for placeringen af et HSDC, men ikke nødvendigvis afgørende. Det kan derfor ikke forudsættes, at et HSDC vil blive etableret lige ved de gode overskudsvarmemodtagere.

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme i Danmark er analyseret på tre niveauer:

- > **Vægtet:** Her tages der udgangspunkt i potentialet for udnyttelse af overskudsvarme for hver af de ni placeringer. For det første modul på 30 MW forventes dette muligt at indpasse i otte af de ni placeringer. Potentialet for indpasning af det første modul bliver således 8/9 af de 30 MW. Efterhånden som der kommer flere moduler til, bliver mulighederne ringere, og andelen af indpasning reduceres.
- > **Højt:** Her forudsættes det, at et HSDC placeres efter, hvor det er relevant at udnytte overskudsvarmen.
- > **Lavt:** Her forudsættes det, at et HSDC ikke placeres efter, hvor det er relevant at udnytte overskudsvarmen. Dette er simplificeret ved, at kun 20 % af overskudsvarmen kan udnyttes.

For udbygningen af HSDC'er er der udarbejdet fire scenarier:

- > Lineær vækst

- > Danmark fravælges
- > Disruption
- > Eksponentiel vækst.

For hvert af de fire scenarier fremskrives udnyttelsen af overskudsvarme.

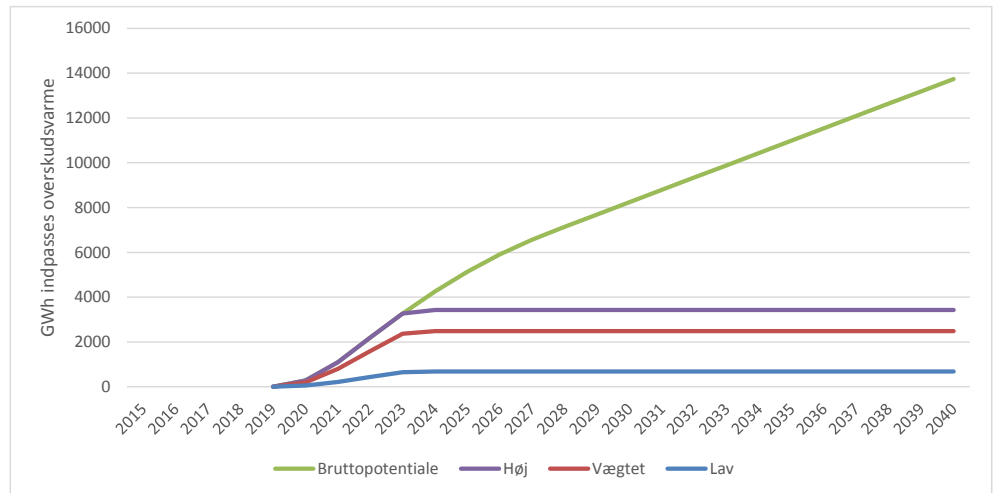
Da COWI ikke har kendskab til etablering af nye transformerstationer, er der ikke taget stilling til muligheden for yderligere placeringer af datacentre.

I samtlige scenarier fremgår det, at en relativt stor mængde af overskudsvarmen fra HSDC kan udnyttes til at begynde med, og eftersom flere HSDC'er kommer til, vil man nå et mætningspunkt for indpasning i de centrale fjernvarmeområder. På de følgende figurer repræsenterer 'bruttopotentialet' den samlede mængde overskudsvarme, der vil kunne leveres til fjernvarmeselskaber, såfremt efterspørgslen er der.

7.4.1 Lineær vækst

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er i scenariet 'Lineær vækst' fremgår af nedenstående figur.

Figur 7-3 Fremskrivning af udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er

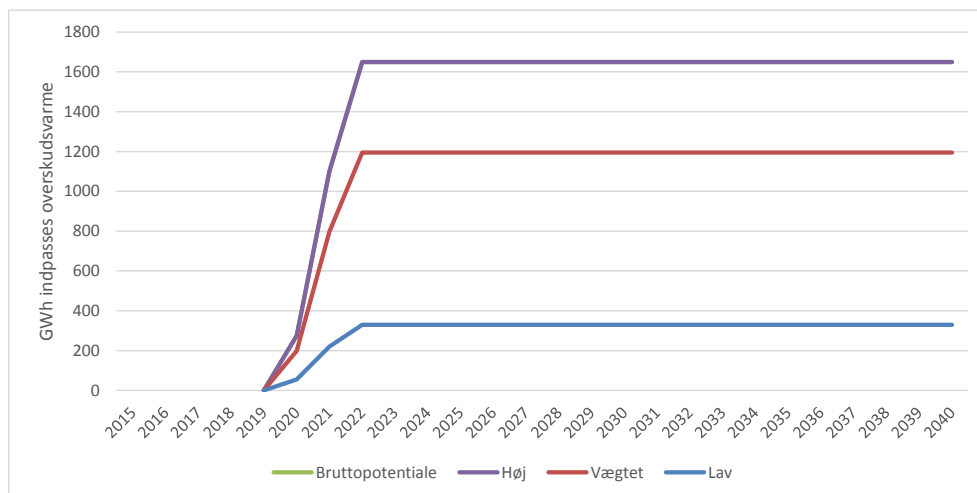


Det fremgår, at det på landsplan er rentabelt at udnytte 41 % af overskudsvarmen fra HSDC i 2030 og 25 % i 2040, hvis HSDC'erne placeres optimalt ift. fjernvarmesystemerne (højt potentiale). I det vægtede scenarie udnyttes dog kun 30% af overskudsvarmen i 2030 og 20% i 2040. Udnyttelsesgraden for de enkelte HSDC'er kan variere fra 0 % til 100 % og afhænger desuden af størrelsen på et givent HSDC. Det centrale i denne analyse er imidlertid en vurdering af potentialet for hele Vestdanmark.

7.4.2 Danmark fravælges

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er i scenariet 'Danmark fravælges' fremgår af nedenstående figur.

Figur 7-4 Fremskrivning af udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er (potentialet ligger oveni i 'Høj'-scenariet)

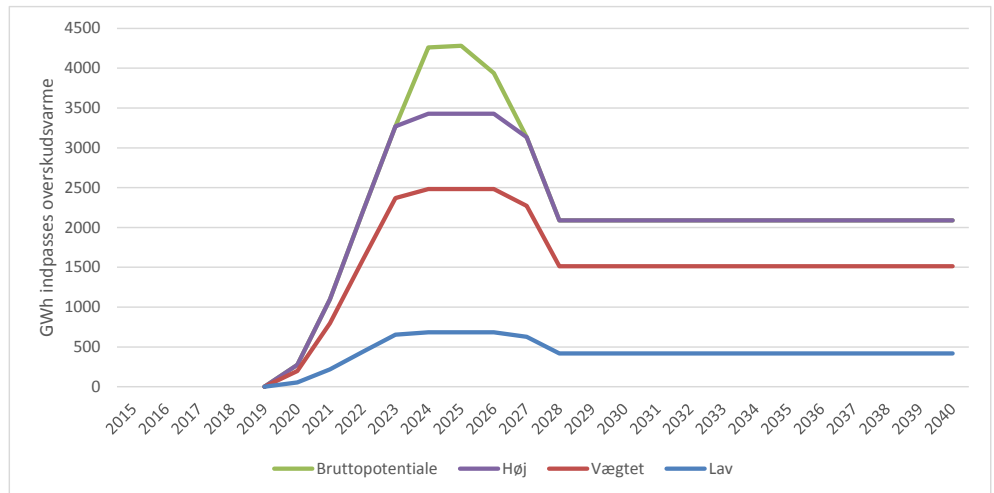


Det fremgår, at det på landsplan er rentabelt at udnytte 100 % af overskudsvarmen fra HSDC i 2030 og 2040, hvis datacentrene placeres ved de fjernvarmeselskaber, hvor det er rentabelt at udnytte overskudsvarmen.

7.4.3 Disruption

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er i scenariet 'Disruption' fremgår af nedenstående figur.

Figur 7-5 Fremskrivning af udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er

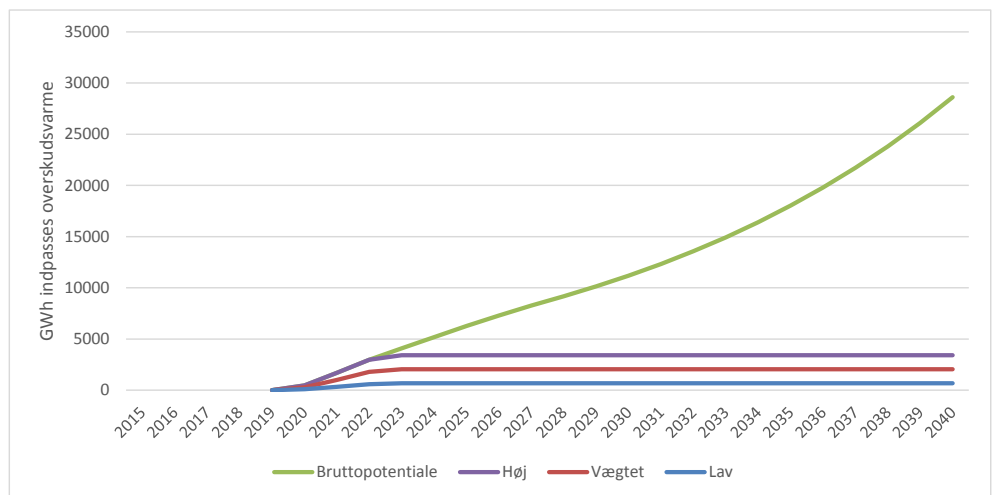


Det fremgår, at det på landsplan er rentabelt at udnytte 100 % af overskudsvarmen fra HSDC i 2030 og 2040, hvis datacentrene placeres ved de fjernvarmeselskaber, hvor det er rentabelt at udnytte overskudsvarmen.

7.4.4 Eksponentiel vækst

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er i scenariet 'Eksponentiel vækst' fremgår af nedenstående figur.

Figur 7-6 Fremskrivning af udnyttelse af overskudsvarme fra HSDC'er



Det fremgår, at det på landsplan er rentabelt at udnytte 29 % af overskudsvarmen fra HSDC i 2030 og 12 % i 2040.

8 Konsekvenser for fjernvarmeaktører

Udnyttelsen af overskudsvarme fra HSDC'er kan være relevant for mange fjernvarmeselskaber – især for de store centrale fjernvarmesystemer.

Langt størstedelen af de fjernvarmeproduktionsanlæg, der leverer varme til de danske fjernvarmesystemer, ejes og drives af fjernvarmeselskaberne. I en del systemer er der dog anlæg, der ejes og drives af andre aktører. Dette omfatter i høj grad affaldsforbrændingsanlæg og de centrale kraftvarmeværker. Dertil kommer eksisterende leverandører af overskudsvarme, eksempelvis industri-virksomheder.

For de 13 udvalgte fjernvarmesystemer er der syv affaldsforbrændingsanlæg, 11 overskudsvarmeleverandører samt fem centrale kraftvarmeværker.

8.1 Affaldsforbrændingsanlæg

På nuværende tidspunkt forventes overskudsvarme ikke at fortrænge varme fra affaldsforbrændingsanlæg. I nogle situationer kan det dog finde sted, hvis ældre ovne tages ud af drift, og affaldet køres til et andet forbrændingsanlæg. I nedenstående tabel fremgår de affaldsforbrændingsanlæg, der leverer varme til de 13 udvalgte fjernvarmesystemer.

Tabel 8-1 Oversigt over affaldsforbrændingsanlæg.

Affaldsforbrændingsanlæg				
Fjernvarmesystem	Anlæg	Virksomhed	Elkapacitet [MW]	Varmekapacitet [MW]
Århus Fjernvarme	Reno Syd I/S	Reno Syd I/S	2,9	21
Århus Fjernvarme	Affaldscenter Aarhus	Aarhus Kommune	20,3	71,5
Aalborg Fjernvarme	Reno Nord I/S	Reno Nord I/S	24,9	65,7
Holstebro-Struer Fjernvarme	Måbjergværket	Maabjerg Energy Center	27	84
Odense Fjernvarme	Fjernvarme Fyns Affaldsenergi	Fjernvarme Fyn	24	65
TVIS	Energignist Kolding	Energignist	6,3	46
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Energignist Esbjerg	Energignist	18,5	57

Alle de fem centrale systemer samt Holstebro-Struer modtager varme fra et affaldsforbrændingsanlæg. Flere affaldsforbrændingsanlæg ejes af det lokale fjernvarmeselskab.

Hvis der i fremtiden sker en liberalisering af affaldsområdet, kombineret med faldende affaldsmængder, øget kildesortering eller faldende affaldsimport, vil affaldsforbrændingen formentlig blive koncentreret på færre enheder, hvorfor det på længere sigt kan blive relevant at erstatte affaldsvarme med overskudsvarme i nogle fjernvarmenet.

8.2 Overskudsvarme

Blandt de 13 udvalgte fjernvarmesystemer modtager fem af disse overskudsvarme fra i alt 10 leverandører (Aalborg Portland har to anlæg).

Overskudsvarmeleverancen er meget dominerende i Aalborgs samt i TVIS' system, mens der er meget små mængder overskudsvarme i de resterende systemer.

Det forventes ikke, at overskudsvarme fra HSDC'er kan konkurrere med overskudsvarme fra Aalborg Portland (Aalborg) og Shell (TVIS), da disse leverandører kan levere ind ved fjernvarmetemperaturer og derfor ikke kræver varmepumper til at hæve temperaturen.

Det forventes derfor ikke, at HSDC'er volumenmæssigt i et nationalt perspektiv får stor betydning for leverancen af overskudsvarme fra andre leverandører.

Tabel 8-2 Oversigt over overskudsvarmeleverandører

Overskudsvarmeleverandører			
Fjernvarmesystem	Anlæg	Virksomhed	Varmekapacitet [MW]
TVIS	Shell Raffinaderiet Fredericia	A/S DANSK SHELL	56,0
Hinnerup Fjernvarme	Hinnerup Fjernvarme, Fanøvej 15	HINNERUP FJERNVARME AMBA	0,7
Århus Fjernvarme	Fortum - Århus	Ekokem A/S	2,0
Århus Fjernvarme	DLG Aarhus	Aarhus Kommune	1,2
Århus Fjernvarme	Aarhus Krematorium	Aarhus Kommune	0,8
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Sky-Light A/S	SKY-LIGHT A/S	0,1
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Novrup Krematorium	ESBJERG VARME A/S	0,3
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Naajaq Seafood A/S	ESBJERG VARME A/S	0,2
TVIS	Daka Denmark A/S, Dakavej 12	DAKA DENMARK A/S	4,0
Aalborg Fjernvarme	Aalborg Portland A/S	Aalborg Portland A/S	70,0
Aalborg Fjernvarme	Aalborg Portland A/S	Aalborg Portland A/S	32,0

De nuværende overskudsvarmeleverandører kan have valgt at sætte en pris, der ikke er kostægte, da overskudsvarmeleverandøren kan indgå varmeaftaler på kommercielle vilkår. Hvis der kommer en ny potentiel overskudsvarmeleverandør – evt. i form af et HSDC – kan dette medføre et prispres på den nuværende overskudsvarmeleverandør.

8.3 Multiinteressentsystemer

I mange danske fjernvarmesystemer ejes og drives såvel produktion- som distributionssystemet af samme selskab. I disse tilfælde vil overskudsvarme som udgangspunkt være eftertragtet, hvis det kan reducere varmeproduktionsomkostningerne.

Der er også mange fjernvarmeselskaber, hvor fjernvarmen produceres af et eller flere selskaber og leveres til et distributionselskab (i nogen tilfælde gennem et transmissionselskab). For transmissions- og distributionselskaberne vil det også her være interessant med muligheden for at modtage overskudsvarme. Til gengæld vil der i nogle tilfælde være tredjeparter, der kan blive fortrængt af overskudsvarmen.

8.4 Centrale kraftvarmeanlæg

Over de seneste år har flere fjernvarmeselskaber overtaget det lokale centrale kraftvarmeværk. For de udvalgte fjernvarmesystemer gælder dette for Nordjyllandsværket (Aalborg) og Fynsværket (Odense). De resterende centrale kraftvarmeværker (Aarhus, Esbjerg samt TVIS) er alle ejet af Ørsted.

Tabel 8-3 *Oversigt over centrale kraftvarmeanlæg*

Centrale kraftvarmeanlæg				
Fjernvarmesystem	Anlæg	Virksomhed	Elkapacitet [MW]	Varmekapacitet [MW]
Århus Fjernvarme	Studstrupværket SSV 3 (kul)	Ørsted	357	501
Århus Fjernvarme	Studstrupværket SSV 4 (kul)	Ørsted	357	485
TVIS	Skærbækværket SKV B3 (gas)	Ørsted	392	447
Esbjerg-Varde Fjernvarme	Esbjergværket ESV 3 (kul)	Ørsted	371	460
Odense Fjernvarme	Fjernvarme Fyn Fynsværket Blok 7 (kul)	Fjernvarme Fyn	374	450
Odense Fjernvarme	Fjernvarme Fyn Fynsværket Blok 8 (halm)	Fjernvarme Fyn	31	88
Aalborg Fjernvarme	Nordjyllandsværket NJVB3 (kul)	Aalborg Energikoncern	385	422

I såvel Aarhus' som i TVIS' system er der etableret betydelig biomassebaseret kapacitet, der dog endnu ikke fremgår af baggrundsdata til denne analyse (energiproducenttællingen). De biomassebaserede anlæg (Lisbjerg og Skærbæk) ventes at fortrænge fossile brændsler på hhv. Studstrupværket (Aarhus) og det gamle Skærbækværket (TVIS).

De centrale systemer forventes at kunne modtage store mængder overskudsvarme grundet deres størrelse. Det vurderes dog at systemerne stadig ikke vil indpasse mere end 200 MW overskudsvarme bl.a. pga. forsyningsikkerhed.

Hvis overskudsvarme fra datacentre bliver en mulighed i systemer, hvor Ørsted leverer varme, vil de skulle konkurrere med overskudsvarmen. Hvis overskudsvarmen kan konkurrere med den allerede etablerede kraftvarme vil overskudsvarmen tage markedsdel fra det centrale kraftvarmeværk.

8.5 Øvrige fjernvarmeværker

De fleste varmeværker og kraftvarmeværker ejes af fjernvarmeselskabet. Da fjernvarmeselskabets primære funktion er at levere fjernvarme til forbrugerne,

vurderes det ikke som et problem for fjernvarmeselskaberne, at der opstår en mulighed for at udnytte overskudsvarme fra et HSDC.

Hvis overskudsvarmen kan leveres billigere end den nuværende varmforsyning er det positivt for fjernvarmeselskabet. Det betyder dog også, at hvis overskudsvarmen ikke kan konkurrere med den nuværende fjernvarmeforsyning, kan fjernvarmeselskabet ikke gennemføre udnyttelsen af overskudsvarmen.

9 Inputs til samfundsøkonomiske beregninger

COWI har estimeret størrelsesordenen af inputs til mulige senere samfundsøkonomiske beregninger ved hjælp af en række erfaringstal, f.eks. anlægs- og driftsoverslag for HSDC'er, fordelingen mellem løn, anlægsarbejder købt hos underleverandører og import af komponenter fra udlandet. Derudover er der også estimeret effekter for arbejdsmarkedet ved anlæg og drift af HSDC'er, det vil sige fordelingen af arbejdskraft mellem udenlandske og danske arbejdere og den interne fordeling af dansk arbejdskraft på forskellige faggrupper. Der er tale om erfaringsbaserede estimater.

Dette giver mulighed for at beregne direkte beskæftigelseseffekter, indirekte beskæftigelseseffekter og afledte effekter (lønmotageres øgede forbrug). Antagelserne, der er brugt i beregningerne fremgår af Appendix C og Appendix D.

Effekterne er angivet i 2017-priser.

Som et input til beregningerne arbejdes der med en elspotpris for DK1 på 263 DKK/MWh, som er den gennemsnitlige pris for de næste 10 år stillet af et elhandelselskab. Til sammenligning vises nedenstående elpriserne fra 2004-2017.

Tabel 9-1 Historiske elspotpriser DK1, DKK/MWh

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
214	277	330	241	421	268	346	357	270	291	229	171	199	224

Gennemsnittet af de viste elpriser er 274 DKK/MWh, mens gennemsnittet de seneste fem år er 222 DKK/MWh.

Den valgte elpris er for denne analyse ikke af stor betydning, da den beregningsteknisk kun har indflydelse på antallet af årsværk genereret som effekter afledt af elkøb.

Hvis der senere ønskes udført en egentlig samfundsøkonomisk vurdering af HSDC-udbredelsen, kan elprispåvirkningen dog få betydning, hvorfor der i Appendix E er inkluderet en redegørelse for tilgangen hos hhv. et elhandelselskab

og i Energinets analyseforudsætninger 2017 vedr. fremtidige elprisforventninger.

9.1 Beskæftigelseseffekter

Beskæftigelseseffekterne beregnes ved at fordele de direkte lønomkostninger i anlægs- og driftsoverslag på forskellige faggrupper ud fra en konkret vurdering, baseret på COWIs erfaring. Beskæftigelseseffekten af den del af anlægsomkostningerne, som købes ind som anlægsarbejde, vurderes ved hjælp af multiplikatoren udledt fra nationalregnskabets input-output-tabeller. Det samme gælder indkøbet af el i driftsfasen.

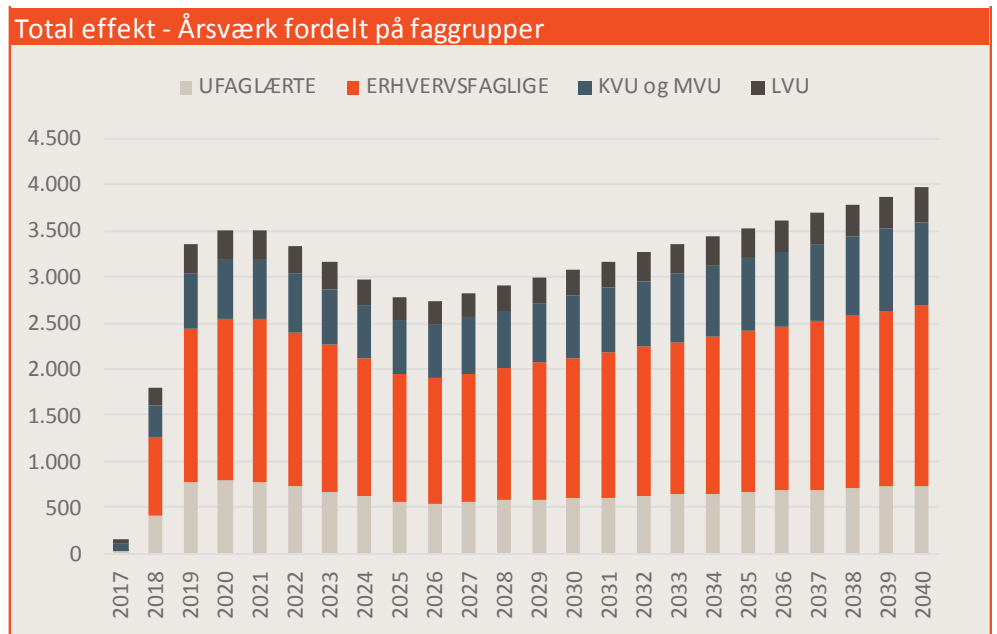
Det går igen i alle scenarier, at der er størst træk på den del af arbejdsstyrken, der har erhvervsfaglige uddannelser inden for bygge- og anlægsbranchen. I driftsfasen skyldes dette, at der dels er træk på forsyningssektoren, og dels at driftspersonalet på et HSDC i høj grad er erhvervsfagligt personale, som skal følge testmanualer på alt udstyr inden for elektriske anlæg, ventilation, varme o.l.

Det skal bemærkes, at denne rapport ikke forholder sig til beskæftigelseseffekternes hverken positive eller negative betydning for det danske samfund. Rapporten forholder sig heller ikke til, om satsninger på andre sektorer kunne give bedre eller dårligere effekter (også kaldet fortrængningseffekter).

Det skal bemærkes, at elforsyning på grund af stor metodemæssig usikkerhed i opgørelse af beskæftigelseseffekterne herfra er regnet med under afledte effekter. Dette gælder i alle scenarier.

9.1.1 Scenarie 1 Lineær vækst

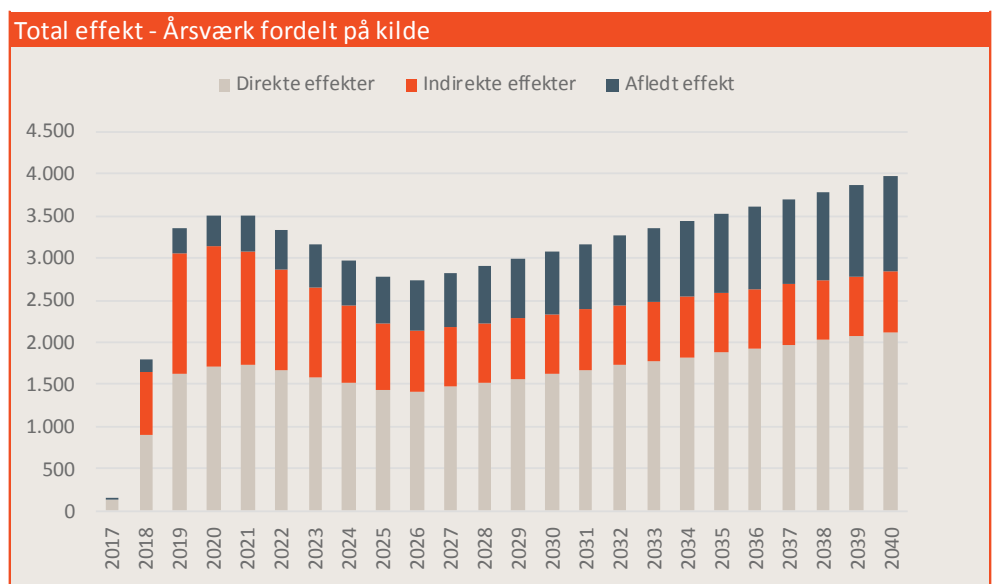
Figur 9-1 Beskæftigelse fordelt på faggrupper



I scenariet 'Lineær vækst' ses en let varierende beskæftigelseseffekt i analyseperioden, hvor hovedparten af årsværk bliver skabt til erhvervsfaglige. I alt beregnes beskæftigelseseffekten til godt 57.000 årsværk frem til 2040. Beskæftigelsen topper til sidst i analyseperioden med knap 4000 årlige årsværk, da der stadig bygges nye HSDC samtidig med, at et betydeligt antal HSDC er i drift.

Fordeles de samme årsværk på kilden, hhv. direkte, indirekte og afledte effekter fås følgende billede:

Figur 9-2 Beskæftigelse fordelt på direkte, indirekte og afledte effekter

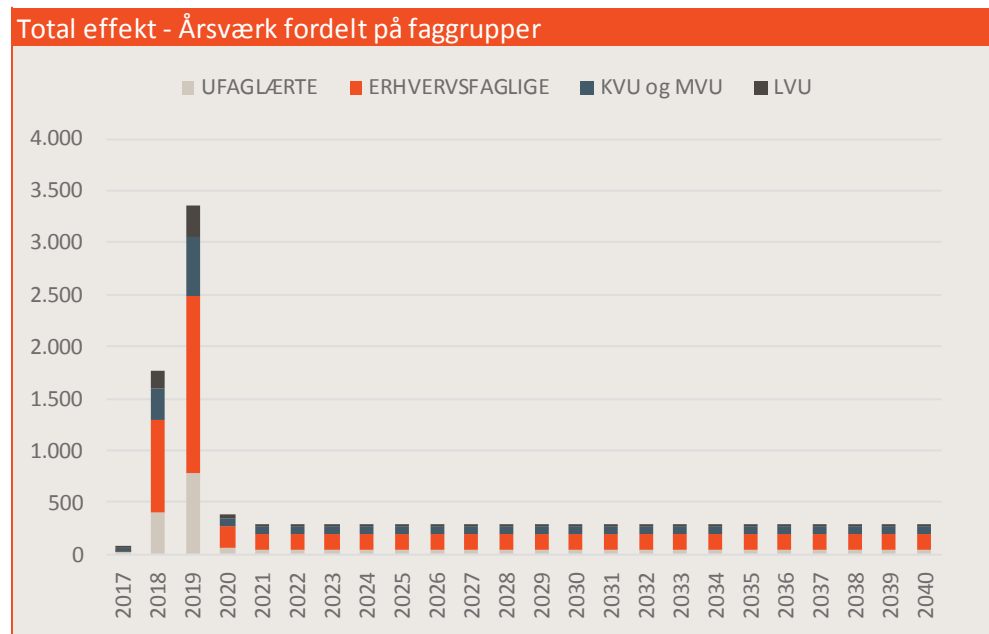


Det fremgår, at størstedelen af effekterne er direkte effekter, dvs. ansættelser på byggepladsen og til driften af datacentre, men også de indirekte effekter

hos underleverandører og de afledte effekter af elforbruget og lønmodtagernes forbrug har en vis størrelse.

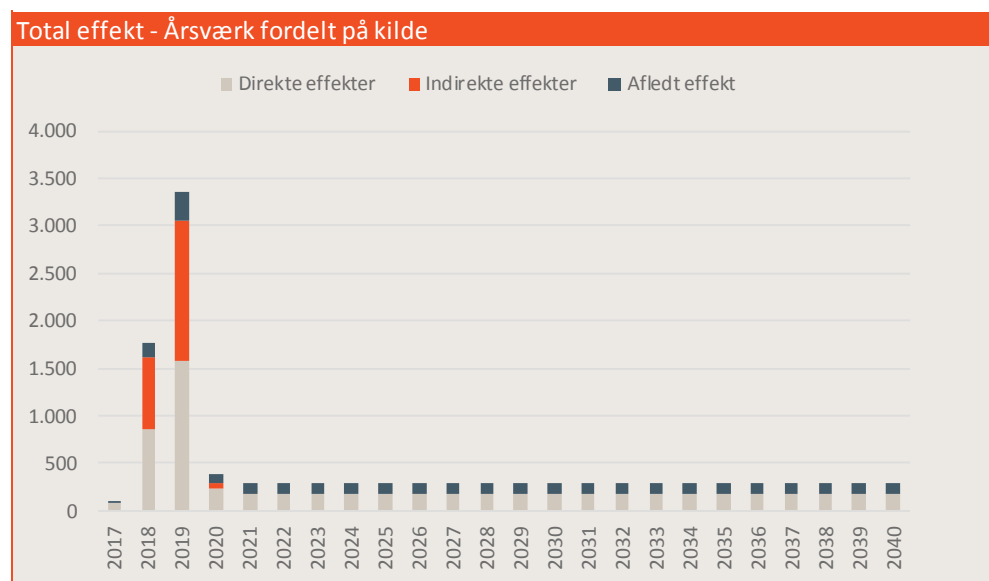
9.1.2 Scenarie 2 Danmark fravælges

Figur 9-3 Beskæftigelse fordelt på faggrupper



I scenariet "Danmark fravælges" stopper anlægsfasen relativt hurtigt og beskæftigelsen toppes i 2019 med knap 3.500 årsværk. I alt er der en beskæftigelseseffekt på ca. godt 7.500 årsværk i analyseperioden. I driftsfasen er der ca. 250 årsværk pr. år. Også her er der flest årsværk blandt de erhvervsfaglige.

Figur 9-4 Beskæftigelse fordelt på direkte, indirekte og afledte effekter

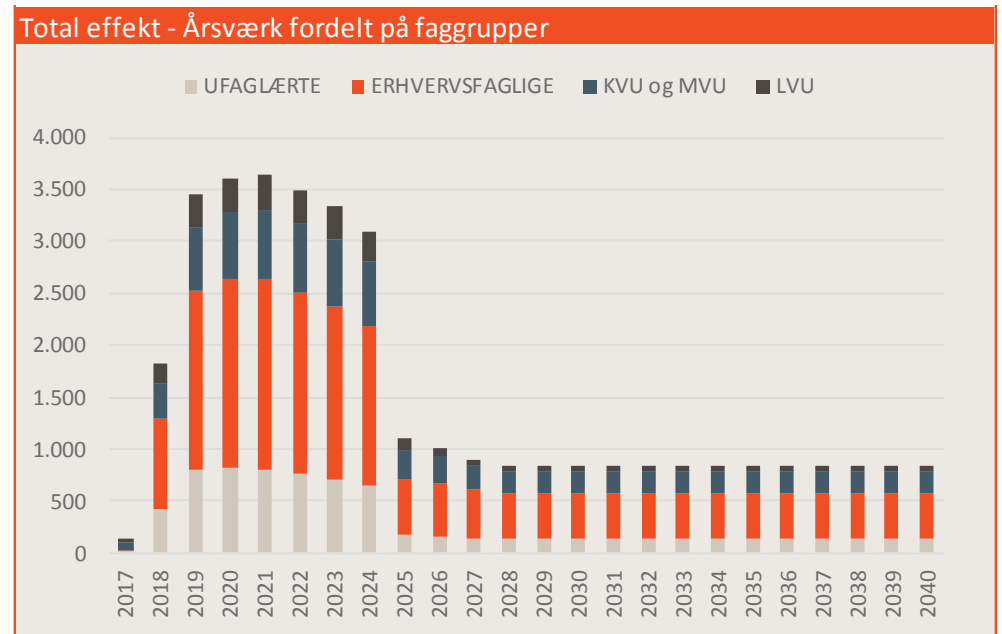


Fordelingen mellem direkte, indirekte og afledte effekter er sammenlignelig med forrige scenarie i anlægsfasen. De indirekte effekter falder bort i driftsfasen, da årsværkene kommer fra driftspersonale ansat på datacentrene og afledte effek-

ter fra elforbrug og endelig en marginal afledt effekt af lønmodtagernes øgede forbrug.

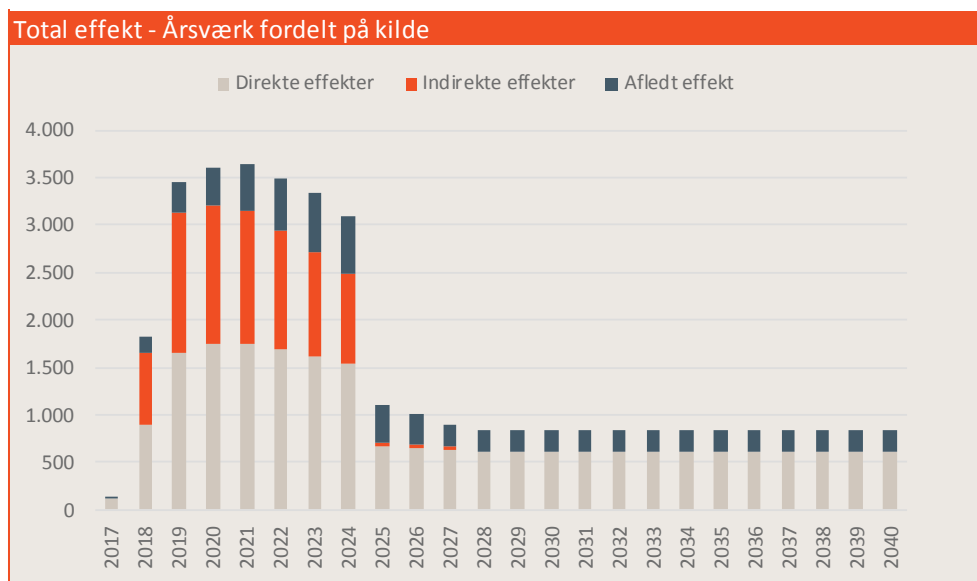
9.1.3 Scenarie 3 Disruption

Figur 9-5 Beskæftigelse fordelt på faggrupper



Scenariet "Disruption" toppe på godt 3.500 årlige årsværk, og afbrydes forholdsvis pludseligt i 2025 pga. ny teknologi, der fjerner behovet for anlæg af nye HSDC. HSDC, der er anlagt i 2025 drives dog videre og genererer knap 1.000 årsværk pr. år. I alt er der ca. 25.000 årsværk frem mod 2040.

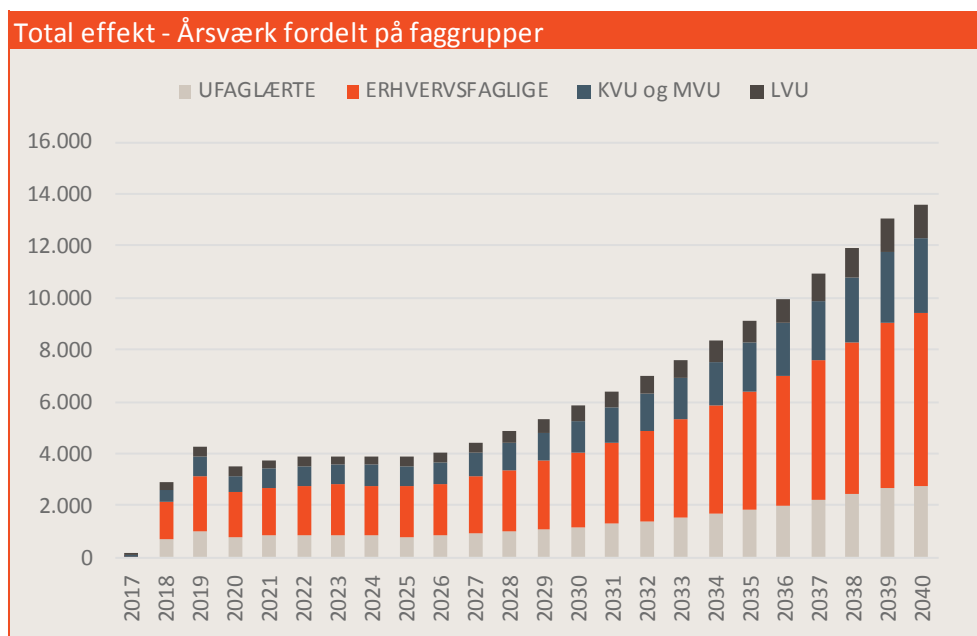
Figur 9-6 Beskæftigelse fordelt på direkte, indirekte og afledte effekter



Fordelingen af direkte, indirekte og afledte effekter følger samme mønster som for scenariet "Danmark fravælges" da vi også i dette scenarie ser en pludselig afbrydelse af anlægsfasen, hvorefter vi kun ser drift af det allerede etablerede.

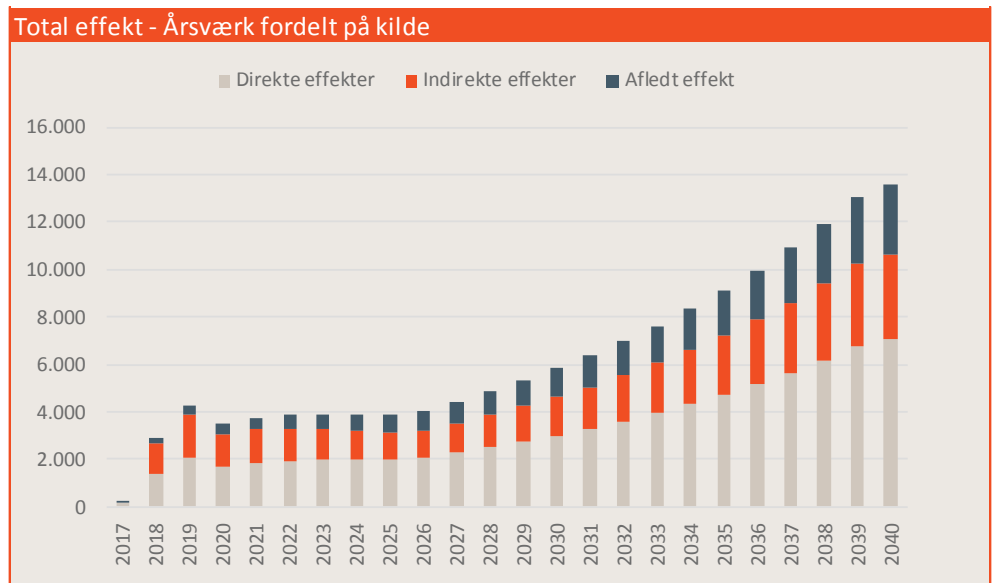
9.1.4 Scenarie 4 Eksponentiel vækst

Figur 9-7 Beskæftigelse fordelt på faggrupper



Scenariet "Eksponentiel vækst" toppes først på knap 14.000 årlige årsværk og er generelt stigende i analyseperioden. I alt er der godt 123.000 årsværk frem mod 2040.

Figur 9-8 Beskæftigelse fordelt på direkte, indirekte og afledte effekter



Det fremgår, at de direkte effekter er størst, men i dette scenarie er også de indirekte og de afledte effekter af betydelig størrelse.

9.2 Øvrige inputs til beregning af samfundsøkonomi mv.

Dette afsnit er skrevet med henblik på at bidrage til Energistyrelsens fremskrivninger. De samfundsøkonomiske effekter er derfor delt ud på forskellige poster, ligesom det er angivet, hvilke anlægs- og driftsomkostninger, der primært består af import og udenlandsk arbejdskraft. Derudover estimeres elforbruget i de forskellige scenarier. Dette kan bruges som input til beregning af energiintensitet.

9.2.2 Lineær vækst

Tabel 9-2 Investeringer, omkostninger og elforbrug – Lineær vækst

Samfundsøkonomiske effekter fordelt over tid, mio. DKK	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
DK Lønsum direkte effekter anlæg	159	662	1.117	1.101	1.035	922	810	705	609	562	562	562	562	562	562	562
DK Lønsum direkte effekter drift	-	14	57	129	200	267	326	378	423	462	498	535	571	607	643	679
Udenlandsk Lønsum direkte effekter anlæg	68	284	479	472	443	395	347	302	261	241	241	241	241	241	241	241
Udenlandsk Lønsum direkte effekter drift	-	6	24	55	86	114	140	162	181	198	214	229	245	260	276	291
Bygge- og anlægsindkøb ekskl. løn og servere (Blandet oprindelse, som alm. byggeri)	-	916	1.758	1.758	1.667	1.491	1.315	1.139	963	879	879	879	879	879	879	879
Investoreret i racks med servere (100% import)	-	3.240	6.480	6.480	6.156	5.508	4.860	4.212	3.564	3.240	3.240	3.240	3.240	3.240	3.240	3.240
Reinvestering i racks med servere (100% import)	-	-	-	-	3.240	6.480	6.480	9.396	11.987	11.340	13.607	15.551	14.579	16.847	18.791	17.819
Elkøb (til markedspris som vurderet 263 DKK/MWh)	-	-	105	315	525	725	903	1.061	1.198	1.313	1.418	1.523	1.628	1.733	1.838	1.943
Elkøb GWh	-	-	220	879	1.759	2.616	3.408	4.111	4.727	5.254	5.716	6.156	6.595	7.035	7.475	7.914

Det fremgår af tabellen, at langt størstedelen af omkostningerne stammer fra såkaldte racks med servere. Disse antages 100 % importeret fra udlandet. Der er dog også en væsentlig indenlandsk lønsum og indkøb hos underleverandører indenfor bygge- og anlæg.

9.2.3 Danmark fravælges

Tabel 9-3 Investeringer, omkostninger og elforbrug – Danmark Fravælges

Samfundsøkonomiske effekter fordelt over tid, mio. DKK	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
DK Lønsum direkte effekter anlæg	91	608	1.042	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DK Lønsum direkte effekter drift	-	14	57	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129
Udenlandsk Lønsum direkte effekter anlæg	39	261	447	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Udenlandsk Lønsum direkte effekter drift	-	6	24	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
Bygge- og anlægsindkøb ekskl. løn og servere (Blandet oprindelse, som alm. byggeri)	-	941	1.815	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investoreret i racks med servere (100% import)	-	3.362	6.724	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinvestering i racks med servere (100% import)	-	-	-	-	3.362	6.724	-	3.362	6.724	-	3.362	6.724	-	3.362	6.724	-
Elkøb (til markedspris som vurderet 263 DKK/MWh)	-	-	105	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315	315
Elkøb GWh	-	-	220	879	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319	1.319

Billedet er stort set det samme som i scenariet "lineær vækst", dog er alle områder på et væsentligt lavere niveau og poster tilknyttet anlægsfasen stopper helt i 2021.

9.2.4 Disruption

Tabel 9-4 Investeringer, omkostninger og elforbrug, Disruption

Samfundsøkonomiske effekter fordelt over tid, mio. DKK	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
DK Lønsum direkte effekter anlæg	135	652	1.125	1.112	1.047	933	820	714	86	52	18	-	-	-	-	-
DK Lønsum direkte effekter drift	-	14	57	129	200	267	326	378	423	430	437	437	437	437	437	437
Udenlandsk Lønsum direkte effekter anlæg	58	279	482	476	449	400	351	306	37	22	8	-	-	-	-	-
Udenlandsk Lønsum direkte effekter drift	-	6	24	55	86	114	140	162	181	184	187	187	187	187	187	187
Bygge- og anlægsindkøb ekskl. løn og servere (Blandet oprindelse, som alm. byggeri)	-	941	1.815	1.815	1.721	1.539	1.358	1.176	33	33	33	-	-	-	-	-
Investereret i racks med servere (100% import)	-	3.362	6.724	6.724	6.388	5.716	5.043	4.371	-	-	-	-	-	-	-	-
Reinvestering i racks med servere (100% import)	-	-	-	-	3.362	6.724	6.724	9.750	12.440	11.767	14.121	12.440	11.767	14.121	12.440	11.767
Elkøb (til markedspris som vurderet 263 DKK/MWh)	-	-	105	315	525	725	903	884	798	599	399	399	399	399	399	399
Elkøb GWh	-	-	220	879	1.759	2.616	3.408	3.426	3.151	2.506	1.671	1.671	1.671	1.671	1.671	1.671

Billedet er stort set det samme som i scenariet "Danmark fravælges", dog fortsætter anlægsfasen frem til og med 2024, og da der anlægges flere datacentre i dette scenarie er der også større lønposter i driftsfasen end i scenariet "Danmark fravælges".

9.2.5 Eksponentiel vækst

Tabel 9-5 Investeringer, omkostninger og elforbrug, Eksponentiel vækst

Samfundsøkonomiske effekter fordelt over tid, mio. DKK	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
DK Lønsum direkte effekter anlæg	183	986	1.371	1.061	1.085	1.054	1.009	959	903	915	998	1.089	1.188	1.296	1.414	1.542
DK Lønsum direkte effekter drift	-	24	88	181	252	326	397	466	530	591	653	721	794	875	962	1.057
Udenlandsk Lønsum direkte effekter anlæg	79	422	588	455	465	452	432	411	387	392	428	467	509	555	606	663
Udenlandsk Lønsum direkte effekter drift	-	10	38	77	108	140	170	200	227	253	280	309	340	375	412	451
Bygge- og anlægsindkøb ekskl. løn og servere (Blandet oprindelse, som alm. byggeri)	-	1.548	2.242	1.683	1.736	1.693	1.629	1.538	1.418	1.419	1.548	1.688	1.842	2.009	2.192	2.391
Investereret i racks med servere (100% import)	-	5.373	8.304	6.128	6.336	6.183	5.949	5.622	5.187	5.164	5.634	6.146	6.705	7.314	7.979	8.704
Reinvestering i racks med servere (100% import)	-	-	-	-	5.373	8.304	6.128	11.709	14.487	12.077	17.331	19.673	17.242	22.965	25.819	23.944
Elkøb (til markedspris som vurderet 263 DKK/MWh)	-	-	182	464	673	888	1.098	1.300	1.491	1.667	1.842	2.033	2.242	2.470	2.718	2.988
Elkøb GWh	-	-	382	1.354	2.379	3.265	4.155	5.017	5.839	6.607	7.343	8.110	8.947	9.861	10.857	11.904

Scenariet har generelt stigende niveauer, hvilket skyldes scenariets eksponentielle natur. Reinvesteringer i racks med servere kan virke overraskende højt, hvilket skyldes, at der med tiden er et større og større antal moduler, der jævnlige får skiftet servere.

Appendix A Teknologiske faktorer bag udviklingen i datamængder og antal af datacentre

A.1 Litteraturstudie af udvikling i datamængder på kort sigt

COWI har gennemgået en række artikler på området for datacentre og henvendt sig til de danske universiteter. Det har været muligt at finde kilder, der beskriver den aktuelle udvikling samt udviklingen i nærmeste fremtid, hvor der ses en hastig stigning i datamængderne. Se endvidere beskrivelsen i kapitel 5. Det er derimod ikke muligt at finde relevant litteratur om tendensen på længere sigt, hvorfor der nedenstående suppleres med en gennemgang af de underliggende tendenser, der tegner sig allerede nu. Hvor der ikke er angivet eksterne kildehenvisninger, er bilaget baseret på COWIs markedskendskab.

A.2 Studier af tendenser på længere sigt

Dette kapitel har til formål at identificere macro-drivere og trends imod eller væk fra HSDC og forudse fokusområder og vækstområder, det er værd at holde øje med. Virksomheder, der bevæger sig indenfor disse datatunge trendområder, vil i fremtiden have behov for stor datalagringskapacitet enten via en egen datacenterstrategi og/eller via en co-location strategi og/eller en cloudstrategi.

Der er i dag en tendens til, at alle såkaldte nye succesfulde, eksponentielle organisationer³² vinder markeder og kunder i en hidtil uhørt grad og fart med såkaldt disruptive forretningsmodeller. Her hjælper den efterhånden temmelig veludviklede og udbredte mulighed for cloudløsninger med global infrastruktur til hurtig markedstilgang.

Nedenstående trends driver i høj grad den hastige vækst, som man aktuelt ser inden for datagenerering og datalagring i verden. Kvantificeringen af dette bliver behandlet i et senere afsnit.

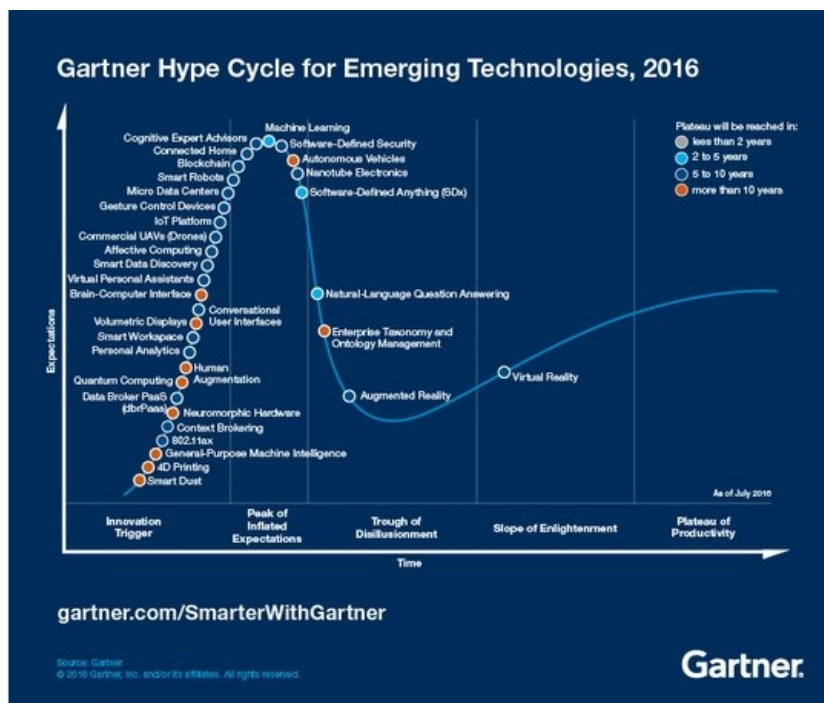
A.3 Teknologitrends – større databehov

Nye teknologiske trends - hvoraf nogle vinder indpas i vores hverdag med hastige skridt, og andre stadig er hypes – forventes at få stor effekt på vores behov for datainfrastruktur. Der er tale om teknologier som Virtual Reality (og Augmented reality), Artificial Intelligence & Machine Learning, samt Internet of Things, som eksempelvis skal benyttes i vid udstrækning i førerløse biler, Industri 4.0-processer, telemedicin og Smart Cities, blot for at nævne populære eksempler. Ud over dette er nye teknologier som 3D-printing og Blockchain-

32 <http://exponentialorgs.com/>

teknologier (Bitcoin, musik- og energidelingservices), som er meget datatunge applikationer.

Figur A-1 Livscyklusanalyse af teknologitrends³³



Herover findes seneste analyse fra anerkendte Gartner Group, som fortæller, hvad de vurderer, er de næste store trends, der bl.a. kommer til at påvirke datamængden og måden at håndtere data på i fremtiden.

Det er væsentligt at slå fast, at vurderingerne af teknologier er baseret på et aktuelt verdensbillede. Med andre ord kan denne rapport inden for få år blive overhalet af virkeligheden.

Ligesom Gartner forudser teknologitrends på mellemlangt og langt sigt, har også World Economic Forum øje på en del af de ovennævnte teknologitrends på deres årlige liste over top 10 spirende teknologier. Fra juni 2016 fremstår AI miljøer, Blockchain, IoT (og IoNT – Internet of nano-things) og selvkørende biler, som deres bud på teknologigennembrud på relativt kort sigt.

Herunder beskrives en liste af de mest omtalte teknologier, som diskuteres og behandles som væsentlige faktorer i forhold til den fremtidige udvikling inden for HSDC.

A.3.1 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) henviser til det stadigt voksende netværk af fysiske objekter, der har en IP-adresse til internetforbindelse, samt kommunikationen, der opstår mellem disse genstande og andre internet-aktiverede enheder og syste-

³³ Gartner Group Hype Cycle for Emerging Technologies, July 2016

mer. IoT udbredes med de små chipsæts og RFID³⁴-enheders faldende priser, som giver økonomisk mulighed for at tilkoble et stigende antal enheder til internettet og dermed skabe et stigende databehov i verden. Ledende analytikere forudser, at alle kinesiske borgere i 2020 vil have syv IP-adresser på deres krop³⁵

Gartner og IDC forudser, at der vil være mellem 25 milliarder og 40 milliarder ting/enheder tilsluttet internettet i 2020

Smart Cities

Smart Cities er på alles læber som en af de store "hypes", og der er ingen tvivl om, at byerne kommer til at stå for store mængder data i fremtiden med det fokus, der er på at få integreret offentlige systemer, med private databaser (et eksempel på Big Data). Samtidig skal byernes borgere kunne se fremtidige udviklingsprojekter udvikle sig virtuelt via Virtual Reality og Augmented Reality. Parallelt med dette ventes alle biler at blive førerløse (hvilket kræver enorme mængder data), og energisystemer vil være koblet sammen med hinanden og med de eldrevne biler (og måske tog), der virker som batterier i systemet. Herudover er der stor fokus på telemedicin og fjernundervisning ud over alle borgernes intelligente devices.

Dataforbrug og bidrag fra byerne og deres borgere vil være helt centralt i den hastige stigning i data på verdensbasis.

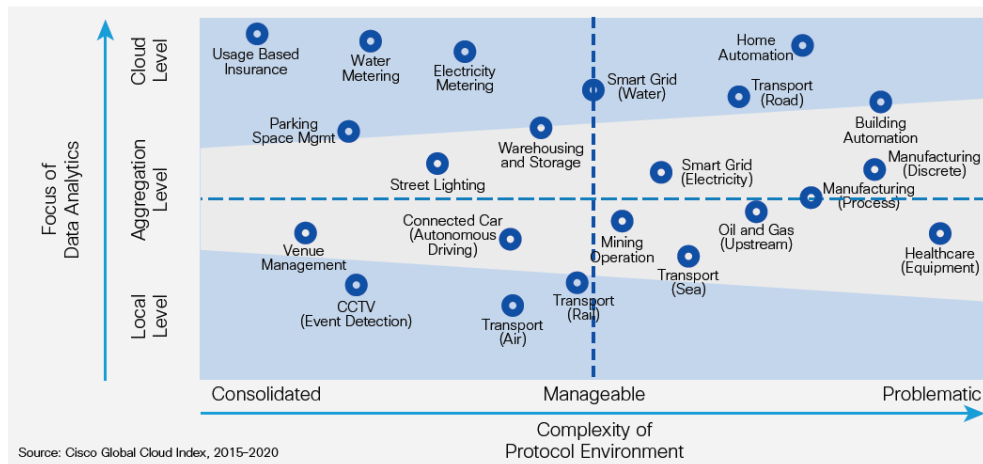
Ifølge McKinsey forventes Smart City-industrien (stort og bredt formuleret) at være et \$ 400 milliarder-marked i 2020 med 600 byer over hele verden. Disse byer forventes at generere 60 % af verdens BNP i 2025³⁶.

³⁴ Radio Frekvens IDentifikation

³⁵ En række forskellige kilder lidt uenige. Fra 5-12 IP numre tales der p.t. om

³⁶ <http://www.techrepublic.com/article/smart-cities-6-essential-technologies/>

Figur A-2 Datagenerering fra en smart city by på 1 million indbyggere i 2020³⁷



Figur A-3 Eksempler på dataopsamling i by



Industri 4.0/Robotter og 3D-print

I et studie fra 2013³⁸ er 47 % af den amerikanske arbejdsstyrke udsat for potentiel automatisering af deres job. Dette kan ske inden for en kort årrække, hvis man alene ser på de tekniske muligheder med robotter, automatisering og kunstig intelligens.

Førerløse biler

Hvert menneske vil i 2020 generere i gennemsnit 1,5 Gb data om dagen. Førerløse biler kan generere ca. 3000 gange så meget³⁹. Førerløse biler bliver en reel databooster, og udviklingen stopper ikke her, da bilerne i fremtiden kan bruges som optimal mobilenhed til opsamling, deling og distribution af en mængde forskellig geo-relaterede data.

³⁷ Kilde: Cisco global Cloud index, november 2016

³⁸ Kilde: Carl Benedikt Frey and Michael Osborne

³⁹ Kilde: Network World – December 7, 2016 udtalt af CEO Brian Krzanich, Intel

Telemedicin

Eksempel på Telemedicin: IBM's Watson Health Cloud er bygget på IBM's AI/ML teknologi i Watson-suiten. Hui Lei CTO⁴⁰ indikerer, at hver person potentielt (set fra 2016-perspektiv) har 1100 Tb helbredsrelaterede data over en livstid. Det svarer til indholdet i ca. 1,8 milliarder bøger.

A.3.2 Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML) og Deep Learning (DL)

Disse ovenstående teknologier har allerede i en årrække været kendt som eksperimenter i kunstig intelligens (AI), men for nylig er der sket store fremskridt på området, herunder i relaterede forskningsområder som Machine Learning og Deep Learning. Her en kort definition på teknologierne⁴¹:

Artificial Intelligence (AI) er et paraplybegreb, som omfatter alle ovenstående forskningsområder. McKinseys rapport fra 2015 med titlen "Disruptive Technologies: Fremskridt, der vil forvandle liv, erhvervslivet, og den globale økonomi" peger på, at omkring en snes banebrydende teknologier vil skabe en stor global betydning inden for de næste 10 år. Blandt disse er mindst fem teknologier relateret til AI og Robotics, som omfatter: automatiserede "videnopgaver", Robotics, IoT, 3D printingteknologi, og selvkørende biler.

Machine Learning (ML) er en iboende del af AI. Machine Learning refererer til et softwareforskningsområde, der muliggør algoritmers forbedring igennem selv-læring fra data uden nogen form for menneskelig indgriben. McKinsey beskriver i "*An Executive's Guide to Machine Learning*", at MLs styrke ligger i evnen til at lære af data. ML blev en selvstændig forsknings- og udviklingsdisciplin i 90'erne, da avancerede teknologier og billige computere gav mulighed for at man kunne programmere computere til selv at generere algoritmer. Den eksplosive mængde og datavarietet har øget betydningen af ML. Ultimativt kan ML overtage det arbejde, som datafolk og forskere udfører - med tiden.

Deep learning (DL) er i realiteten en udløber af Machine Learning og er et studie af "dybe neurale netværk" i den menneskelige hjerne. DL-teknologi forsøger at efterligne funktioner fra de indre lag af den menneskelige hjerne. Af applikationer kan nævnes billedgenkendelse, oversættelse imellem forskellige sprog og e-mail sikkerhed. DL skaber viden fra flere lag af informationsbehandling. Teknologien er modelleret efter den menneskelige hjerne, og når der tilføres nye data, forbedres kapabiliteten.

AI, ML og DL er ved at udvikle sig fra fremtidsvisioner til reelle brugbare og kommercielle teknologier. De fleste topvirksomheder som bl.a. IBM Watson Analytics, Microsoft, Azure, ML studio, Google Prediction API, Amazon Echo & Machine Learning og Facebook har investeret i open source ML-projekter.

⁴⁰ Nordic Edge Expo, Stavanger oktober 2016

⁴¹ AI Business, article June 16, 2016

Maskinrevolutionen er allerede i gang. IBM's supercomputer Watson kan forudsige patientresultater mere præcist end læger og give naturlig personprofil (på 52 arketyper) ud fra en basis på 300 ord fra en persons egen beskrivelse, personens Facebook- og LinkedIn-profil⁴². Virksomheder som Amazon, Netflix, og flere andre, har med stor succes allerede etableret overlegne digitale forretningsmodeller grundlagt på ovenstående teknologier.

Alene markedet på services baseret på AI teknologi vurderes at stige fra 2,5 milliarder USD til 60 milliarder USD mellem 2017 og 2025⁴³.

A.4 Infrastrukturtrends

A.4.1 Cloud computing

Der er flere forskellige årsager til, at cloud computing er blevet så populært, men primært omlægger virksomheder større og større dele af deres workload i cloud for at fokusere på kerneforretningen. Så når man kan få eks. infrastruktur og software som en service med høj opetidsgaranti og uden større anlægsinvesteringer, vælger virksomheder i stigende grad at outsource denne del af forretningen.

Det har i særdeleshed ændret forretningsmodellen for Amazon (Amazon Web Services), der har brugt deres arv som værende cloud-baseret pga. salg og andet på nettet til i stigende grad at levere cloudydelser til andre virksomheder (til at komplementere den klassiske Amazon-forretning). Andre store virksomheder prøver at udfordre AWS på tronen som den p.t. markant største spiller, såsom Microsoft Azure, Google og IBM Softlayer. Også virksomheder som Oracle og Salesforce har stærke positioner på markederne her, foruden kinesiske selskaber som Alibaba, Meituan, Tencent, Baidu, Huawei og andre.

A.4.2 Blockchain

Blockchain tilbyder en metode til at spore elementer eller transaktioner ved hjælp af en fælles digital genkendelse. Blokke af nye transaktioner tilføjes i slutningen af kæden, og kryptering sikrer, at det forbliver ubrudt-uforfalsket og fejlfrit. Dette er betydeligt mere effektivt end de andre nuværende metoder til logging og deling af oplysninger.

Blockchain tilbyder en løsning: en betroet, uforanderlig digital "ledger" eller hovedbog, synlig for alle deltagere, der viser hvert element af transaktionen.

Bitcoins var starten, men nu er en række etablerede finansielle institutioner ved at blive tidlige brugere af teknologien i deres kerneforretning: World Economic

⁴² IBM Watson præsentation – N.Y.C april 2016

⁴³ <https://www.statista.com/statistics/607716/worldwide-artificial-intelligence-market-revenues/>

Forum har anslået, at 80 % af bankerne arbejder på blockchain-projekter. CLS, som er verdens største multivaluta cash-afregningsystem, gennemfører blockchain i valutamarkedet. Bank of Tokyo-Mitsubishi har udviklet en smart-kontrakt prototype for flere parter forretningstransaktioner. Kina UnionPay bruger blockchain for loyalitetsprogrammer, der opererer på tværs af flere banker.

Potentialet for blockchain findes dog på mange forskellige markedsområder. Blockchain anvendes således også til globale forsyningskæder. Toyota og USA Postal Service udforsker dette allerede, men der er også set eksempler fra elforsyning, musik- og filmdeling.

IBM estimerer, at det kan generere mere end \$ 100 milliarder i årlige effektivitetsgevinster ved at anvende blockchain-teknologi.

Blockchain er en relativt kompleks algoritme, og teknologien bruger relativt meget regnekraft, hvilket vil påvirke størrelser og energiforbrug i centrale HSDC'er til formålet⁴⁴.

A.4.3 Kvantecomputere

En række af de store teknologigiganter; Microsoft, IBM, Google osv. arbejder i øjeblikket hårdt på, side om side med myndigheder og militære teknologimiljøer, at udvikle de første - storskala - brugbare kvantecomputere. Der er en række anvendelsesmuligheder for kvantecomputere, bl.a. formodes hele krypteringsproblematikken omkring data i det offentlige internet at kunne løses med denne teknologi; det vil klart medføre fjernelse af et lag af data. Samtidig ved vi, at når nye eksponentielle teknologier, som denne er, opstår, opstår der også nye muligheder for anvendelse, som skaber nye lagrings- og distributionsbehov. Hvorvidt og hvordan det vil påvirke tendensen for HSDC'er er endnu uklart, men det er en teknologi (som endnu ikke er helt klar til storskala brug⁴⁵), hvis udbredelse kommer til at påvirke datasfæren globalt inden for en relativt kort årrække.

A.4.4 Fiberoptiske forbindelser

Hvis datacentrene er hjertet i systemet, er det fiberoptiske datanet vener og arterier, der får data distribueret rigtigt rundt i systemet.

Alle data skal kunne distribueres til alle brugere, og der skal være mulighed for hurtig interaktion mellem alle brugere og enheder. Her kommer fiberoptiske kabler ind, da de kobler regioner og kontinenter sammen. De mobile teknologier er i stigende grad accessdelen, og fiberoptiske kabler er transportsystemet. HSDC'er med vitalt, centralt indhold skal have adgang til dette netværk, og derfor er det en forudsætning, at verden er koblet sammen.

⁴⁴ <http://thedailycougar.com/2017/04/04/energy-consumption-blockchain/>

⁴⁵ <https://www.technologyreview.com/s/609451/ibm-raises-the-bar-with-a-50-qubit-quantum-computer/>

Det er typisk store, interkontinentale søkabelsystemer, der skaber denne forbindelse, som er en forudsætning for konnektivitet. Søkablerne bliver i hastig grad udbygget i disse år, og HSDC-lokationer vurderes i høj grad ud fra deres placering i forhold til disse systemer, da det skaber mulighed for kortest mulig transmissionstid af datapakkerne og relativ høj datakapacitet.

A.4.5 Mobil 5G

Med udviklingen af 5G mobilteknologi bliver hver enkelt ejer af mobile enheder i stand til at overføre og modtage flere data i realtid. Nye applikationer vil opstå, og den totale datamængde stiger, hvilket understøtter stigende behov for HSDC'er.

A.5 Globale makrotendenser, der vil påvirke HSDC-markedet

Der er en række tendenser, der entydigt peger i retning af, at flere data skal opbevares og videredistribueres i verdens HSDC'er.

Det er dog ikke kun teknologitrends, der vil definere fremtidens datacenterinfrastruktur internationalt. Det er en yderst dynamisk branche, og Gartner forudser, at i 2021 vil mere end 90 % af de store datacentre revidere deres strategier på grund af store globale samfundsøkonomiske og miljømæssige tendenser. I Gartner Groups "Top Global Megatrends Impacting Data Center Strategies" fra 2016 nævnes væsentlige faktorer⁴⁶:

Digitalisering

Gartner 2016 CIO Survey viser, at vi nu er så langt med digitalisering, at it-chefer og CIOs er nødt til at implementere digitale platforme, der er forberedte på fremtidens (og nutidens) digitale efterspørgsel. Dette vil påvirke efterspørgslen på HSDC, både cloud og co-location. En kombination af ovenstående vil levere regnekraft og lagring til forretningen og vil også omfatte modne, bimodale⁴⁷ it-teknologier til at udnytte agiliteten ved forskelligartede HSDC-setupper.

Urbanisering

Antallet og størrelsen af megabyer er stigende. I takt med at bybefolkningen vokser og i stigende grad koncentrerer sig færre steder, må datacentre tilpasse sig. Disse tætte byområder vil have en "tyngdekraft" og tiltrække datacentre. Gartner refererer til dette som "megacity-tyngdekraften."

Ikke desto mindre vil megacity-tyngdekraften ikke påvirke alle datacentre på samme måde. De allerstørste byer vil typisk have eksorbitant højere omkostninger, så selv om nærhed til en megacity synes attraktiv, kan omkostningen være

⁴⁶ <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/four-megatrends-impacting-the-data-center/>

⁴⁷ Bimodal er betegnelsen for den praksis, der indebærer styring af to separate, men sammenhængende workloads: en fokuseret på forudsigelighed; den anden på at udforske.

for stor for nogle datacentre. Applikationer med specifikke krav kan bruge micro, edge eller små datacentre placeret inde i megabyerne, men konsolideret under HSDC, som er placeret, hvor der er plads og lave omkostninger.

Klimaforandringer og ressourceknaphed

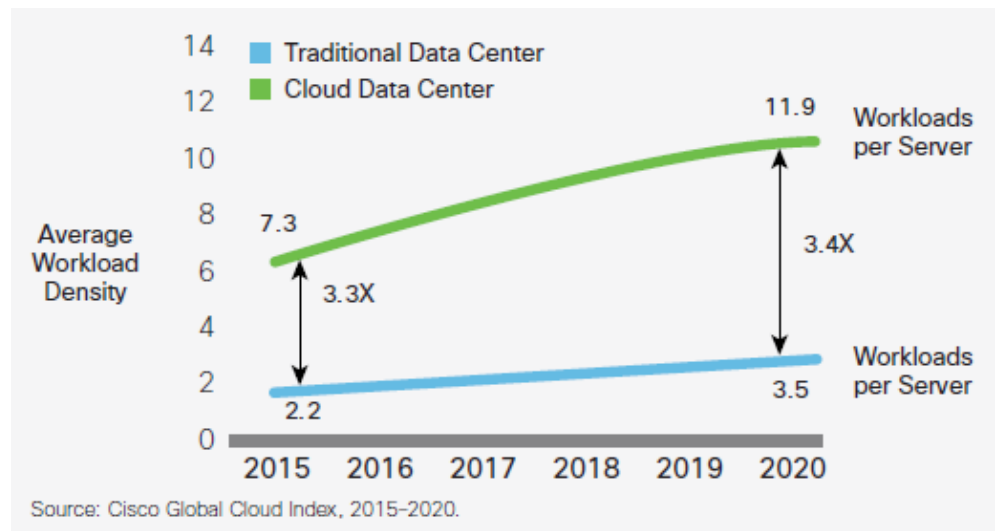
Klimaforandringer kombineret med befolkningstilvækst og økonomisk udvikling vil fortsætte med at øge presset på vigtige naturressourcer, herunder vand, fødevarer, råvarer og energi. Som den globale efterspørgsel efter it-ressourcer fortsætter med at vokse, vil datacentre kræve mere energi og vand for at holde temperatur og fugtighed på de nødvendige niveauer. Ved udvælgelse af lokationer bør man evaluere og indregne klimarisici og anlægge en integreret og strategisk tilgang til grøn it og bæredygtighed.

A.5.1 Trends for udbredelsen af HSDC

Datacentermarkedet går i to forskellige, men komplementære retninger på samme tid. Det er ikke et spørgsmål om den ene eller den anden; der er tale om en kombination af dem, som vil understøtte hinandens udvikling.

Et HSDC samler en masse data på ét sted med henblik på at opnå anlægs- og driftsmæssige stordriftsfordele. Her kan nævnes aktører som Apple, Microsoft, Facebook, Google og AWS, der fokuserer på disse store blokke af infrastruktur til at støtte det eksponentielt stigende databehov, der kræves primært til cloud-udvikling og indholdet på sociale medier i disse år.

Figur A-4 Næsten lineær udvikling af effektiviseringen på serverniveau og forskellen imellem cloud og on-premise DC workload⁴⁸



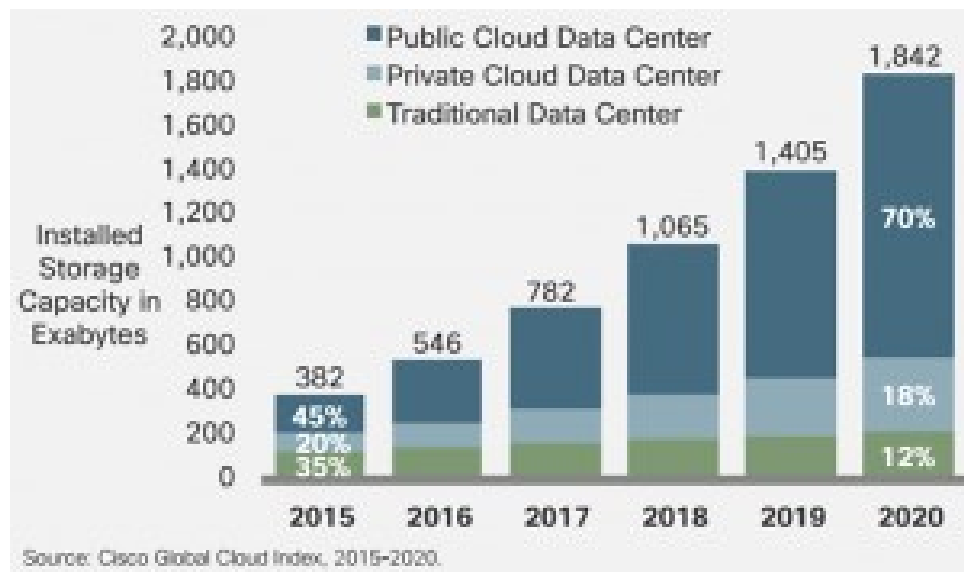
På den anden side er der den edgedrevne-tilgang, drevet af det forventeligt massivt voksende antal af IoT-enheder. Edge er altså mindre lokale datacentre, som er geografisk meget tættere på der, hvor indholdet er blevet skabt.

⁴⁸ Kilde: Cisco Global Cloud Index – November 2016

En del data ligger på vores mobiltelefoner, i form af underholdning osv., men der vil også være behov for decentral lagring af IoT fra Smart Cities og andet. Små edge-datacentre vil dermed vinde indpas. Dette markedssegment er leverandørerne begyndt at interessere sig meget for, og der udvikles forskellige skalerbare modulære løsninger til "Plug'n play".

Der vil forventeligt være en stor mængde data, der lagres og processeres i edge-systemerne, og som vil have relevans for HSDC; eksempelvis: servicedata fra førerløse biler, trafik og positioneringsdata, realtidsautomation, 3D-printproduktion og meget andet. Det betyder, at edge-knudepunkterne i nogen grad vil spille op imod en større, centraliseret HSDC-infrastruktur. HSDC-markedet vil derfor ikke blive truet af fremkomsten af edges. Endnu er det dog usikkert, i hvilken takt edge-datacentre vil blive udbredt, og meget afhænger af de nye lastmeterteknologier som 5G og applikationer såsom førerløse biler og smart city-applikationer. Der vil uden tvivl være stigende behov for central data-lagring og -behandling til at understøtte IoT-tjenester og -applikationer; dvs. med edge-datacentrenes fremkomst skabes mere datatrafik i de centrale HSDC'er.

Figur A-5 Stigning i datacentres storagebehov⁴⁹



Udviklingen af globalt datalagringsbehov stiger i øjeblikket hurtigere, end lagringsteknologien udvikler sig, hvilket medfører et væsentligt udbygningsbehov i de kommende år. Den forventede udvikling i lagringsbehov vil være mere end tredoblet inden udgangen af 2020. Her forventer Cisco omkring en fordobling af HSDC'er på verdensplan inden 2020. Denne udvikling er også understøttet af lignende udvikling indenfor databehandling/workloads jf. afsnit 5.

⁴⁹ Kilde: Cisco Global Cloud Index – November 2016

A.6 Konklusion

- > DC Markedet er påvirket af megatrends; digitalisering og klimaforandringer
- > De tekniske muligheder for datalagring og -behandling vokser ikke i samme hast, som data udvikles
- > Det globale DC-marked går imod store centralt baserede hyperscale DC (skalafordele)
- > DC benytter i dag 3 % af verdens producerede elektricitet -> fokus på "grønne datacentre" og intelligente energiløsninger
- > God udvikling i de metro baserede co-location centre, som også vil nå ud til tier 2 og 3 lokationer til support af IoT.

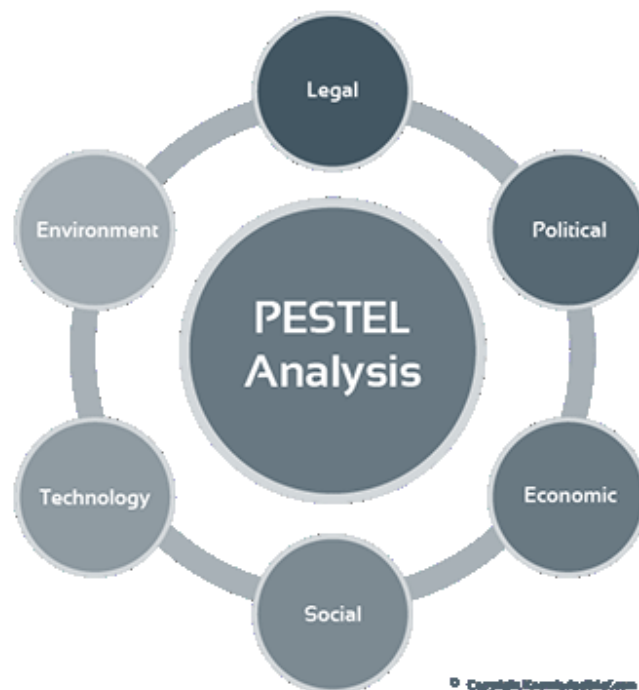
Appendix B Pestel-analyse af datacentres valg af lokation i Europa

Dette appendix redegør for de parametre, som typisk afgør datacenteroperatørernes valg af lokalisering.

Der har i de seneste år været en voksende interesse blandt datacenteroperatører for at placere nye centre i Norden, når man har ønsket at udbygge kapaciteten i Europa. Det skyldes blandt andet det kølige klima, som reducerer behovet for energi til køling, den høje forsyningssikkerhed med grøn energi, og derudover over de stabile politiske og geologiske forhold. I dette appendix gøres der rede for de omverdenselementer, som er væsentlige kriterier, og som primært påvirker investorerens beslutning om, hvor de skal etablere hyperscale DC.

Analysen er gennemført med inspiration fra en klassisk PESTEL-analysemodel, der opdeler omgivelserne i politiske, økonomiske, sociologiske/demografiske, teknologiske, miljømæssige/bæredygtighedsmæssige og lovgivningsmæssige forhold. Intentionen er her at identificere væsentlige faktorer, der influerer beslutninger, at finde forskellene mellem de nordiske lande, og at identificere de nordiske landes styrker og mangler vedrørende rammebetingelser for HSDC'er i forhold til at leve op til at være et optimalt investeringsmiljø for denne type investeringer. I praksis er PESTEL-modellen her tilpasset datacenter-området med afsæt i det kendskab, som COWI har til operatørernes praksis.

Figur B-1 Omverdensanalysemodel - PESTEL

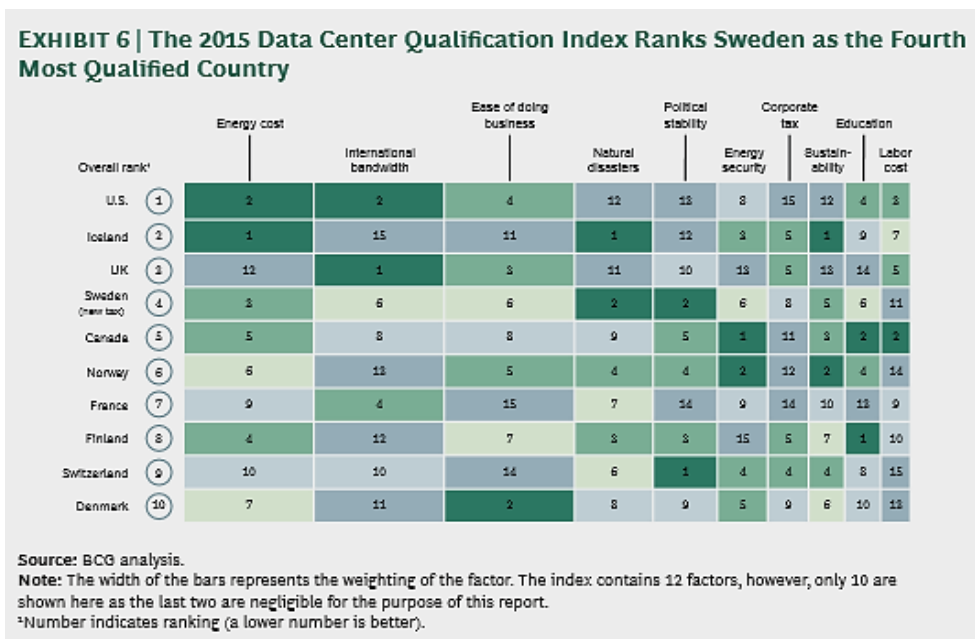


I et senere afsnit laves en analyse, hvor det indikeres, hvilke geografiske områder HSDC-operatørerne primært vælger imellem.

Fra tredjeparts kilder findes der i dag overordnede analyser af væsentlige kriterier for investorer i HSDC, og hvilke risikoanalyser, de foretager, inden de væl-

ger at etablere et HSDC. Et eksempel er Cushman & Wakefields Data Center Risk Analysis⁵⁰ - senest udkommet i 2016. De nordiske nationer rangerer højt på verdensplan, når det kommer til egnethed for placering af et HSDC. Desuden har Boston Consulting Groups i juni 2016 udgivet et index for lokalisering af datacentre, hvor de nordiske markeder er højt placeret. Se figurer nedenfor. Hvor der ikke er angivet eksterne kildehenvisninger, er oplysningerne baseret på COWIs markedskendskab.

Figur B-2 BCG overblik over landerangering vedr. placering af HSDC'er



⁵⁰ Datacentre Risk index 2016 – Cushman & Wakefield.

Figur B-3 Data centre Risk index 2016 C&W landerangering

THE INDEX RANKING BY COUNTRY

2016 RANK	REGION	INDEX SCORE (100= BEST)	COUNTRY	ENERGY - ELECTRICITY (COST PER KWH)	INTERNATIONAL BANDWIDTH (MEGABYTE PER S)	EASE OF DOING BUSINESS	CORPORATION TAX
1	EMEA	100.00	ICELAND	6	10	14	9
2	EMEA	96.21	NORWAY	11	7	7	23
3	EMEA	90.26	SWITZERLAND	8	5	16	6
4	EMEA	90.19	FINLAND	13	8	8	9
5	EMEA	89.92	SWEDEN	22	4	6	14
6	AMERICAS	85.07	CANADA	4	16	10	22
7	APAC	84.50	SINGAPORE	23	11	1	4
8	APAC	83.23	KOREA, REP.	2	1	2	16
9	EMEA	79.81	UNITED KINGDOM	30	14	4	13
10	AMERICAS	78.73	UNITED STATES	3	15	5	36
11	APAC	78.73	HONG KONG	21	2	3	3
12	EMEA	78.06	NETHERLANDS	29	6	18	17
13	APAC	76.48	JAPAN	20	3	21	35
14	EMEA	74.98	LUXEMBOURG	27	22	30	25
15	EMEA	74.73	QATAR	1	29	31	7
16	EMEA	73.75	GERMANY	34	18	11	26
17	EMEA	73.61	FRANCE	24	24	17	31
18	EMEA	73.31	CZECH REPUBLIC	28	9	22	7
19	EMEA	71.53	BULGARIA	14	13	23	1
20	EMEA	71.53	IRELAND	32	17	12	2

Som det fremgår af ovenstående figurer, har disse to ledende analyseselskaber identificeret en række omverdensfaktorer, der har indflydelse på, hvor man placerer et HSDC. Som det ses af analyseresultaterne, er der ikke noget 1:1-forhold mellem rangeringen her, og hvor HSDC'er er blevet placeret historisk set. Endnu har ingen af de helt store amerikanske investorer placeret HSDC'er hverken i Island eller Norge.

Til gengæld er to af de større og mest omtalte projekter inden for de seneste år placeret i Danmark, som indtager en beskedent tiendeplads i BCG-undersøgelsen, og som slet ikke er med i C&W's rapport. Heller ikke Irland er med på BCG-listen og indtager en 20. plads på C&W-indekset, men Irland har historisk tiltrukket klart flest hyperscale-investeringer i Europa. Det viser, at udvælgelseskriterierne i rapporterne sandsynligvis ikke er vægtet korrekt eller at landenes indbyrdes rangering ikke er retvisende.

COWI vil dog tage udgangspunkt i de overordnede kriterier for site selection, som er angivet i disse rapporter, da de øvrigt vurderes at være væsentlige og korrekt identificerede, men øjensynligt blot forkert vægtet til HSDC-formål. Ligeledes overser de formentlig deciderede 'showstoppere', eksempelvis risiko for vulkanudbrud. I forbindelse med diverse besøg fra site selection-teams i det nordiske marked er der yderligere evalueringskriterier, der er kommet til COWIs kendskab. Således gennemgås de væsentligste selekteringskrav ud fra disse erfaringer (genfortalt af stakeholders i interview) og med inspiration fra de to ovennævnte rapporter.

B.1 Parametre i scorecard

I dette afsnit redegøres for de forudsætninger, som ligger til grund for anvendelsen af det score-card, som anvendes i temaanalysens kapitel 6.

B.1.1 Skattetryk

I dette afsnit beskrives beskatning af virksomheder og arbejde. I B.1.4 omtales forbrugsskatter på energiforbrug, som også har stor indflydelse på, om en investor vælger at bygge i et område. Skat på arbejde og relaterede udgifter er relativt set høje i Norden, men har minimal betydning i denne sammenhæng, da skatterne ikke fylder så meget i totalomkostningsbilledet. Det gør virksomhedsbeskatning i højere grad. På dette område vurderes de nordiske lande overordnet at være konkurrencedygtige i forhold til det øvrige Europa.

Norden vs. resten af Europa.

Irland stikker markant ud i forhold til de øvrige europæiske lande, og med en selskabsbeskatning, der i lang tid har ligget på 12,5 %, ligger Irland klart lavest og har i årevis af samme årsag tiltrukket store udenlandske investeringer, i forbindelse med etablering af europæiske hovedkvarterer på en række erhvervsområder, eksempelvis it, pharmaindustri mv. Placeringen af europæiske hovedkontorer i Irland har i nogen grad trukket datacenterinvesteringer med sig. Der er altså formentlig tale om, at den lave irske selskabsskat, som har tiltrukket europæiske hovedkontorer, har haft en indirekte effekt på den første bølge af datacenterplaceringer. Fremover forventes det ikke, at selskabsskatten kommer til at vægte højere end andre kriterier. I Benelux er især Holland kendt for at tilbyde relativt liberale beskatningsforhold.

Visse kommuner i Norge har en lille ulempe i forhold til jord/industri-beskatning – den såkaldte "Verk og bruk", som er en betydelig beskatning på værdien af den virksomhed, som er beliggende på et givent areal. Dette forringer konkurrenceevnen i de områder, der er pålagt skatten. Denne norske særbeskatning forventes dog fjernet for datacentre, evt. allerede fra budgetåret 2018 (Kilde: Reynir Jóhannesson, State Secretary, Ministry of Transport and Communications- Datacloud Nordics event Oct. 30, 2017), hvilket forbedrer Norges forhold for HSDC-placering. Island har relativt lav selskabsskat, og Danmark og Sverige er placeret midt i feltet på området for erhvervsbeskatning.

B.1.2 Erhvervsvenlighed

Erhvervsvenlighed – eller "Ease of doing business" er et bredt formuleret kriterium for HSDC-operatører. Fokus på dette område dækker over, at man som operatør lægger stor vægt på at lokalisere sig i områder med stor politisk stabilitet (som Norden er meget kendt for), uden korrupsion, med stor gennemsigtighed i rammebetingelser og forståelse for behovet for agilitet og pragmatisk sagsbehandling hos lokale myndigheder.

Med til begrebet erhvervsvenlighed hører også planlovgivning, behandling af byggetilladelser osv. På dette område har svenskerne og nordmændene en no-

get trægere myndighedsbehandlingsproces end Danmark. Benelux-landene og til dels også Irland opleves til gengæld som relativt smidige. Tyskland har en ekstremt træg og centraliseret planlægningsproces⁵¹, hvilket indtil videre er en af landets helt store ulemper i forbindelse med HSDC-markedet.

Når der tales om "ease of doing business", tales også om investorernes præference for at kunne optræde anonymt og om vigtigheden af, at investorerne ikke skal fremstå som problematiske og uønskede elementer i et miljø, men tværtimod kan indgå som et positivt element i et lokalsamfund. Her har Irland de seneste par år haft en, for HSDC-miljøet, meget hård proces med at få godkendt Apples tvilling-site i Galway. Offentlighedsprocessen har her ført til, at Apples tilstedeværelse er blevet betvivlet, og der er gjort en række indsigelser imod projektet til den miljømæssigt beslutningsdygtige instans An Bord Pleanála.

Den irske High Court har nu for nyligt sikret Apple adgang til at bygge i det vestlige Irland. Alt dette har dog betydet negativ omtale af Apple brandet i en mere end to år. Apple har anvendt mange ressourcer på processen, og ikke mindst har man måttet udsætte etableringen af HSDC'et, hvilket øger risikoen for manglende kapacitet. Dette forløb kan være medvirkende årsag til, at Apple har igangsat et projekt i Aabenraa. Episoden har desuden givet genklang i hele HSDC-miljøet og gjort, at Irland, som destination for placering af HSDC, har fået et dårligere renommé.

Incitament til lokalisering

Overordnet set fungerer det europæiske marked som et rimeligt gennemslagsomt, ensrettet område, uden i særligt stort omfang at anvende direkte økonomiske incitament, som de store investorer er vant til fra særlige stater i USA⁵².

I Norden anvendes der i mindre omfang lokale incitament. F.eks. findes der i Sverige lokale investeringsincitament i særligt den nordlige del af landet. Det gælder både for fysiske investeringer og for R&D-personale (som dog kun har lille betydning for HSDC)⁵³. Der er tale om individuelle ansøgninger, der eksempelvis kan have karakter af særlige skattelemper. Erfaringen er dog, at de store virksomheder kun i meget begrænset omfang benytter disse incitament, idet der er tale om meget begrænsede beløb.

I Norge er der et eksempel på, at statslige innovationspuljer har medvirket til finansiering af et datacenter i Lefdal (Lefdal Mine Data Center). Datacenteret benyttes af selskaberne Rittal og IBM.

Disse særlige statslige medfinansieringsmodeller ventes HSDC-selskaberne ikke at benytte i større udstrækning, idet HSDC-selskaberne har stor fokus på at reducere risiko for forskelsbehandling og pleje af særinteresser.

⁵¹ Undersøgelse fra Aabenraa kommune i konkurrentanalyse

⁵² Kilde: Oxford Research

⁵³ Presentation fra Business Sweden – DCD konference, London November 2015

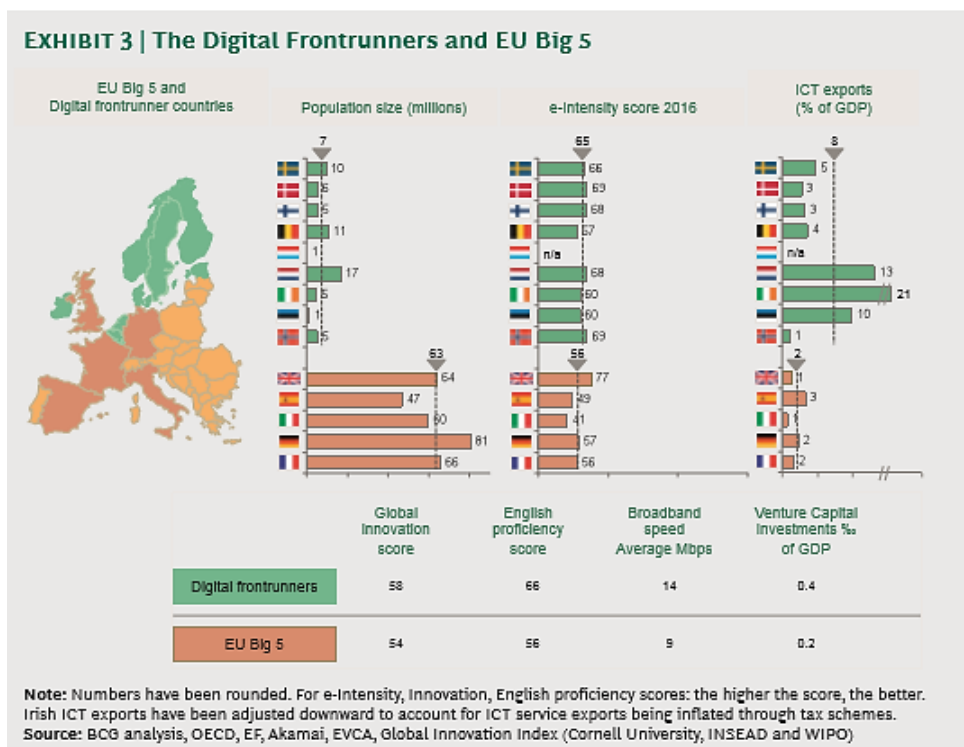
Uddannelse

Et højt uddannelsesniveau og en generelt veluddannet arbejdsstyrke er et lille og ikke altafgørende krav i forbindelse med placering af et HSDC. Relevant arbejdskraft skal være til rådighed, og der kigges også på relevante uddannelsesinstitutioner i nærheden, som der kan samarbejdes med. Et eksempel er, at Apple i Viborg har lavet en R&D-aftale med Aarhus Universitet om udviklingen af næste generation biomasse, ultimativt til for at gøre Apple selvforsynende via efficient omdannelse af biomasse til elektricitet. Dette gør investor mindre afhængig af elforsyningen fra transmissionsnettet, i det omfang der ligger en ny forretning i dette i fremtiden.

(Digital) BNP per Capita

Der er en naturlig forbindelse imellem en regions økonomiske formåen og placeringen af centrale funktioner i forhold til den samlede forretning for de store investorer. Derfor foretrækker HSDC-operatørerne ofte en lokalisering af disse funktioner i de store landes metropoler i Vesteuropa. I co-location terminologi tales der om FLAP-markedet i Europa:

- > **Frankfurt** (stor børns og centralbank, hjertet i tysk og europæisk økonomi), **London** (meget stor børns, finansverdenens centrum i Europa), **Amsterdam** (stor børns, central placering tæt på UK/US, god økonomi) og **Paris** (bindeled til sydeuropæisk økonomi og metropol i EU). På co-location markedet har disse fire markeder pt. mere end 75 % af aktiviteten i Europa⁵⁴ (Tier 1 sites). Dette billede er præget af at aktørerne ønsker at lokalisere sig der, hvor pengene er og derfor også i et velfungerende finansielt miljø og med gode BNP-tal på befolkningsplan. I Norden er Stockholm klart ledende på co-location, nr. 6 i Europa, København og Oslo er noget efter.
- > Begrebet digital BNP anvendes oftere og oftere. Her er der tale om den del af BNP, der hidrører digitalisering og digitale forretningsmodeller, og denne parameter har i stigende grad relevans for placering af HSDC. Her ligger Nordens lande højt i Europa efter UK, Irland; også Benelux står stærkt her.



Figur B-1 Afbildning af BCG's vurdering af Digital Front Runners⁵⁵

FLAP områderne står stærkt i forhold til at betjene den finansielle sektor og de nærliggende storbyer og tæt befolkede områder, hvor der genereres store mængder data. Men for de helt store HSDC'er, som i højere grad betjener verdensdele, kan omkostningen ved en FLAP-lokation blive for høje og betyde, at andre regioner (f.eks. Irland og Norden) også kommer i spil.

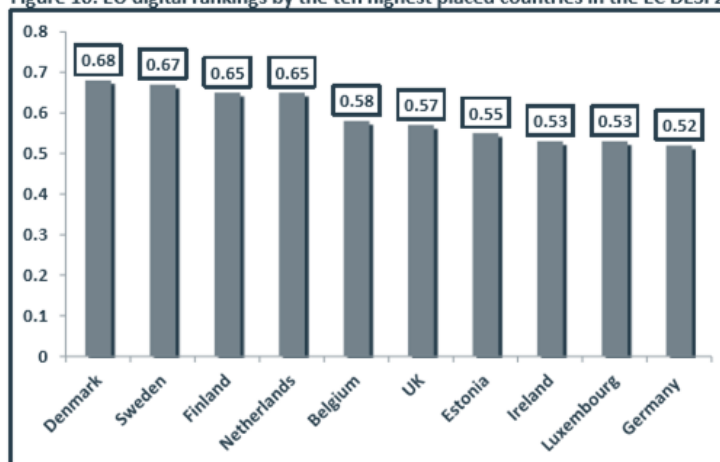
Figur B-2 Det nordiske totalmarked⁵⁶



Norden er ligeledes stærk på digitalisering, se herunder.

Figur B-3 Europæisk rangering digitaliseringsparathed⁵⁷

Figure 10: EU digital rankings by the ten highest placed countries in the EC DESI 2015 report



Source: EC DESI report 2015 (based on 2014 reported data)

Norway and Iceland, as non-EU countries, were not included in the EC DESI rankings. The DESI rankings are composed of information from five categories including:

1. Connectivity: including broadband infrastructure and quality
2. Human capital: including skills, measured by usage & development
3. Uses of the internet: including online commerce and banking
4. Integration of digital technology: including business use and sales outlets
5. Digital public services: with the use of digital services by Government

Regulering af datahåndtering

Den juridiske regulering af datahåndtering og datastrømme, som er en hjørne- sten i et datacenter, har fået voksende betydning de seneste år. Databeskyttel- se er relevant for driften datacentre af flere årsager:

- > It-selskaberne er optagede af at beskytte brugernes personlige oplysninger, der placeres i et datacenter⁵⁸. I EU er personfølsomme oplysninger regule- ret ved et EU-direktiv, og der er derfor begrænsede forskelle mellem lande- ne, men fortolkningen af direktivet kan variere en anelse fra land til land.
- > It-selskaberne er bekymrede for lovgivning, der tillader myndighederne online- overvågning af og eventuel direkte adgang til kundernes data og trafik.
- > Flere og flere lande indfører i disse år såkaldte "data localisation"-krav. Disse krav betyder, at offentlige data og/eller data om landets borgere skal opbevares i landet. Disse krav er blandt en reaktion på Edward Snowdens afsløringer af NSA's overvågning af europæiske data. Data localisation-krav kan betyde, at it-selskaber må opføre datacentre i de lande, hvor brugerne er, i stedet for ét HSDC, der dækker mange lande.

Opsigelsen af Safe harbour-aftalen mellem USA og EU, som i 2015 blev opsagt af EU, har delvist påvirket amerikanske investorers fokus på at være inden for EU.

EU's persondataforordning, der træder i kraft i 2018, vil sikre, at virksomheder med persondata inden for EU vil blive udsat for regelmæssig revision af deres datastyring. Revisionen vil omfatte, hvordan personlige data erhverves, opret- holdes, opdateres, bevares, beskyttes og bortskaffes, og der indføres markante bøder for manglende overholdelse.

Der er ingen tvivl om, at ophævelsen af Safe Harbour og de nye EU- persondataforordninger har været medvirkende til, at store datatunge virksom- heder med kundebase i EU har overvejet at placere central storage i regionen.

Norden vs. Resten af Europa

I scorecardet er der foretaget en samlet vægtning af alle ovenstående faktorer. En nærmere beskrivelse af vurderingen følger herunder.

Med hensyn til den generelle erhvervsvenlighed, står de nordiske lande godt, idet især Danmark vurderes at have en stærk og smidig myndighedsbehandling. Benelux-landene vurderes også at have en god position på dette område og lig- ger tæt på Danmark.

⁵⁸ Et eksempel på dette er Apples afvisning af at udlevere oplysninger til de amerikanske myndigheder fra en telefon, der tilhørte en af de involverede i ter- rorhandlingen i San Bernardino, Californien.

Tyskland er til gengæld udfordret, på grund en kompleks lovgivning på centrale niveauer og træg myndighedsbehandling. Det seneste eksempel for Apple i Galway har betydet, at site selection teams ser med større skepsis på Irland som sted for lokalisering.

Med hensyn til anvendelse af generelle incitamerter, er det her indtrykket, at alle relevante lande står temmelig lige.

På uddannelsesområdet står Nordens lande godt, med et samlet set højt uddannelsesniveau og tilgængelig arbejdskraft - også i udkantsområder. Luleå Kommune og Universitetet i Luleå har gjort meget ud af at etablere nye HSDC-relaterede uddannelser i forbindelse med Facebooks tilstedeværelse i området. Uddannelsesniveau og arbejdsmarkedsforhold vurderes således som gode i Norden.

Med hensyn til digital BNP, er dette ikke Nordens stærkeste side, alene på grund af hver enkelt lands størrelse. Set under et, er Norden dog verdens 12. største marked, med stor købekraft, ifølge Business Sweden. Derfor er der fokus på samarbejde mellem de nordiske lande, selvom man også konkurrerer om investeringerne. For nylig er det blevet foreslået at forankre en overnational satsning vedrørende datacentre i regi af Nordisk Råd.

Med hensyn til reguleringen af data, har Norge en lidt svagere position ved deres manglende medlemskab af EU, selvom de med deres tilknytningsregler til EU forsikrer om, at de er 'compliant' på området. Brexit-beslutningen har gjort investorkredse usikre på det holdbare i at udvide engagementet i UK. Her er der særligt tale om Europas største co-location hub London med over 250 MW installeret datacenter-base og adderet kapacitet på 15,5 MW i Q2 2016⁵⁹. Hvis investorerne fravælger London, skal denne kapacitet etableres andetsteds i Europa.

Den nye dataforordning forventes at stille EU lande lige. Dog er særligt store lande som Frankrig og Tyskland ikke enige i dette på nuværende tidspunkt. Hvis der opnås egentlig ligeværdighed mellem landene i EU på dette område, vil der opstå en mulighed for et friere "flow" af data. Dette vil forventeligt øge fokus på etablering af centrale HSDC, der hvor rammebetingelserne er mest gunstige.

B.1.3 Stabilitet

Politisk miljø

Politiske beslutninger påvirker mange typer rammebetingelser af betydning for lokalisering af et HSDC. Stabile politiske miljøer er en altafgørende rammebetingelse, da politisk stabilitet sikrer rimelig forudsigelighed i lovgivningen. Derfor fokuserer investorerne på at identificere faktorer, der kan influere rammebetingelserne og potentielle risici i de politiske miljøer, inden de udvælger en lokation for et HSDC.

⁵⁹ CBRE-tal

Politisk stabilitet er altafgørende for, om et land eller et område med overnationale beslutningsprocesser kan komme i betragtning i en site selection-proces for en HSDC-investor. Rammebetingelsernes væsentlighed for de meget risikoaverse investorer er meget stor.

Det er blandt andet vigtigt, at det politiske miljø understøtter adgangen til kompetent arbejdskraft og udvidelsesmuligheder. Desuden lægges der vægt på en gennemskuelig og forudsigelig skatte-, afgifts- og energipolitik, og helt væsentligt skal der politisk sikres uafhængig energiforsyning eller alene afhængighed af andre såkaldt stabile nationer.

Norden vs. resten af Europa

De nordiske lande vurderes meget højt på politisk stabilitet, også i forhold til resten af Nordeuropa og i særdeleshed i forhold til Syd- og Østeuropa. Her spiller medlemskabet af EU og den centrallovgivning, der sker her, en rolle. Også den vedtagne persondataforordning har betydning. Norge er tæt associeret med EU, men det kan være et lille minus, at Norge ikke er egentligt medlem af EU. Finland tilskrives lav stabilitet – alene på grund af nærheden til Rusland. Hvad angår Storbritannien, betegnes Brexit som en stor usikkerhedsfaktor i fremtiden. Især er det afgørende, hvordan Storbritannien bliver stillet i forhold til persondataforordningen.

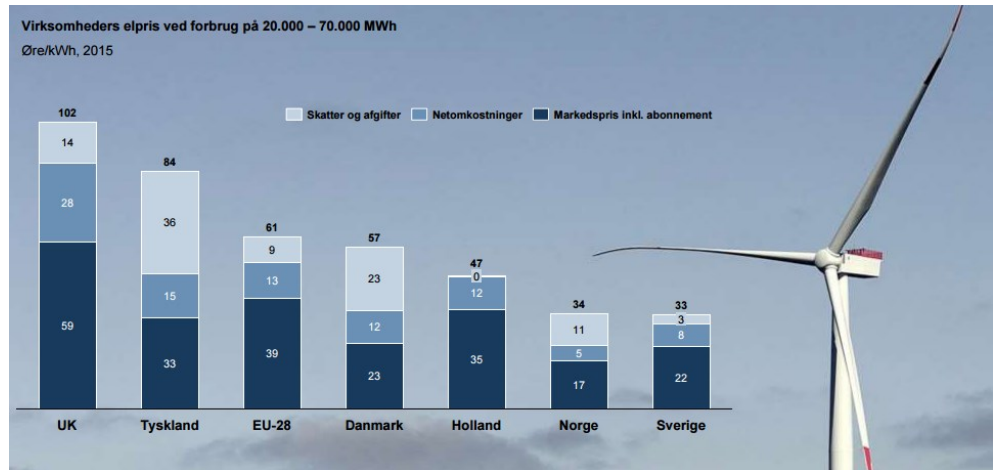
B.1.4 Elpriser

For de store energiintensive HSDC'er er der stort fokus på energiomkostningerne, da en væsentlig del af driftsomkostningerne stammer herfra, og fuldt udbygget bruger disse over 1 milliard kWh el om året. Derfor kan selv en meget lille forskel pr. kWh påvirke driftsbudgetterne markant.

I figurerne nedenfor sammenholdes elprisen i 2015 for datacentre med afgiftsatser ved et årligt industrielt elforbrug på 20-70 GWh. Dette er lavt sat i forhold til faktisk forbrug i et fuldt udbygget HSDC, men kan benyttes til benchmark.

Figur B-1 Energipriser på udvalgte europæiske markeder fra DONG CEO Henrik Poulsen⁶⁰

⁶⁰ Præsentation – DONG oktober 2016. Yderligere data her:
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity_prices,_first_half_of_year,_2015-2017.png#file



Sammenligningen (ekskl. Island) viser, at Norge og Sverige ligger lavest på de samlede elomkostninger mens Norge ligger lavest på den rå elpris. Prisforskellen mellem de nordiske lande er begrænset, grundet elforbindelserne og markedskobling af elpriserne. Elbørsen (Nordpoolspot.com) og markedskoblingen anerkendes som et eksempel til efterfølgelse af mange store investorer⁶¹, qua dets lave prisniveau, solide prisdannelse og stabile udvikling.

El-forbrugsrelaterede skatter og afgifter

De seneste års tiltrækning af investorer med energiintensiv virksomheder, særligt HSDC, har skabt et politisk ønske om at tiltrække flere af disse investeringer. Dette har medført, at Finland og nu også Sverige og Norge, pr. 1/1-2017 nedsætter skatter og afgifter på datacentre.

Effekten af de nylige afgiftslempelser på energi i den nordiske region gør, at man i Norden entydigt opnår de lavest nettoelpriser i Vesteuropa, og da priselementet på forbrugsrelaterede omkostninger har stor tyngde i investorenes beslutningsproces, forventes det at få effekt på fremtidige investeringer fra HSDC-segmentet i Norden.

Når vi medtager afgifter og skatter, springer særligt den danske PSO-afgift i øjnene. Den har en relativt stor indflydelse på nettoprisen på el. I dag er derfor både Norge og Sverige noget mere omkostningseffektive markeder for HSDC-ejerne, men med udfasningen af PSO-afgiften frem til 2021, vil Danmark få en elpris næsten på niveau med resten af Norden.

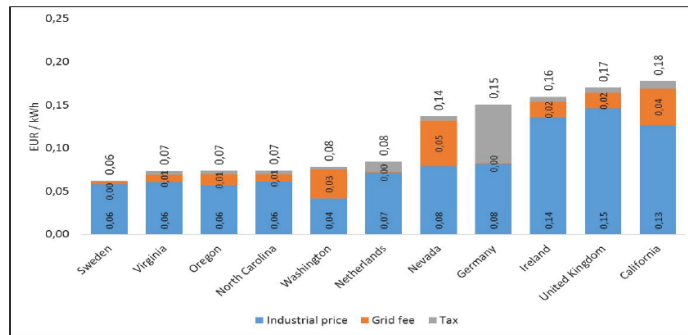
I regionen er man nu på niveau med de for HSDC-ejerne mest omkostningseffektive amerikanske stater (kilde: Vattenfall, Business Sweden US trip Feb. 2017 – se herunder).

Figur B-1 Omkostninger ved Energiforbrug

⁶¹ Jf. Google-udtalelse DCD London konference 2016, samt Facebook ditto året før

TOTAL POWER COST – SELECTED LOCATIONS 2015

Total power costs 10 MW facility including power, grid fee and implemented energy tax changes (EUR/KWh)

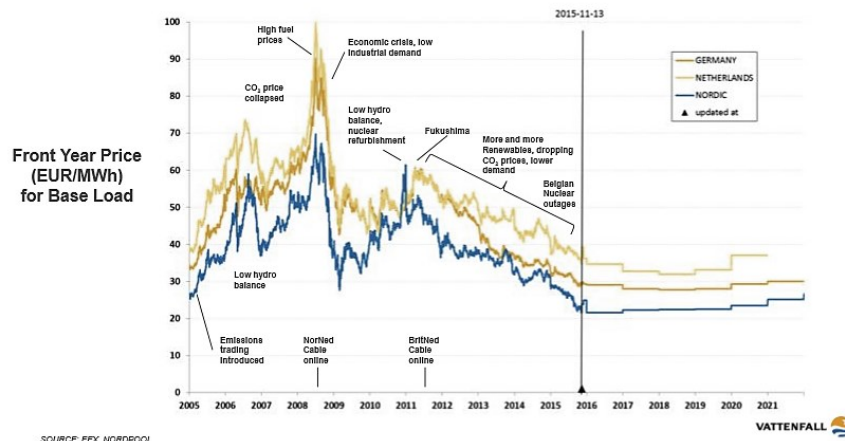


18 Source: IEA, Eurostat & PA-Consulting



Som det fremgår af figurene, er de nordiske lande klart ledende i Europa på dette område. Særligt børsprisen på el er markedsledende i regionen. Det skal bemærkes, at ovenstående grafer ikke nødvendigvis repræsenterer virkeligheden for en stor HSDC-investor 1:1, mestendels fordi disse klienter typisk bruger over 1000 GWh fuldt udbygget og dels fordi beskættningen er svær at benchmarke 100 %. Men det er et lignende realbillede, som en investor ser ind i, hvad angår rå elpriser – også når man kigger et antal år ind i fremtiden.

Figur B-2 Benchmark på rå elpriser, ekskl. skatter og afgifter i europæiske markeder⁶²



Norden vs. Resten af Europa

På dette område har Norden absolut laveste omkostninger i Europa. På de efterfølgende pladser kommer områder, som Norden konkurrerer med på tiltrækning af HSDC'er, som Benelux-landene, herefter Tyskland og noget efter de britiske øer med UK og Irland. I nedenstående afsnit behandles yderligere økonomiske

⁶² Kilde: Vattenfall præsentation november 2015

incitamerter for investorer til at søge mod Norden, da der er stort fokus på at fjerne forbrugsrelaterede skatter og afgifter i området.

Internt i Norden er flere områder i Norge billigst på børsprisen på el, herefter kommer Sverige, Danmark og Finland. Både Norge, Sverige og Finland har etableret særligt favorable afgiftsfritagelser for datacentre, men også den besluttede udfasning af PSO'en i Danmark har her effekt. Norge og Sverige vurderes af markedsaktørerne stadig at være marginalt billigere i fremtiden.

Der er i de nordiske lande truffet politiske beslutninger om ny lovgivning på afgiftsområdet, der som helhed gør regionen mere konkurrencedygtig. Nettoprisen på forbrugsrelaterede energiydelser til HSDC i Norden er den laveste i Vesteuropa.

I den interne kamp landene imellem ligger Norge og Sverige på det laveste prisniveau inkl. skatter og afgifter på dette område, efterfulgt af Finland og Danmark.

B.1.5 Naturkatastrofer

Et emne, der fylder meget i valg af lokalitet til et HSDC, er risiko for naturkatastrofer samt klimamæssige udfordringer som oversvømmelsesfare osv. Derfor startes en site selection-proces i en given region typisk ud med en katastrofeanalyse. Her endevendes faktorer og begivenheder som jordskælv, oversvømmelser, orkaner og tornadoer. Denne analyse indsnævrer bruttolisten over potentielle steder på en effektiv måde.

I praksis er der få områder (på landeniveau), som i særligt omfang er plaget af dette fænomen. Der kan dog være enkelte områder og Benelux-landene, hvor man kan opleve oversvømmelser fra floder mv. I Norden forekommer det i praksis sjældent, omend der er i Sverige kan være risiko for jordskælv.

Der er ingen lande i Europa, hvor naturkatastrofer er så udbredte, at det vurderes at et helt land står markant svagere på dette punkt. Dog skiller Island sig ud, idet faren for vulkanudbrud og evt. medfølgende gener for flytrafik mv. vurderes at være en barriere for lokalisering her.

Norden vs. Resten af Europa

På dette område må Norden i praksis vurderes at have forudsætninger svarende til det øvrige Europa.

Nordepæiske lande har generelt fordel ved et sikkert og forudsigeligt klima, med Island som indtagelsen, på grund af vulkanrisiko.

B.1.6 Kapacitet og spots på transmissionsnettet

Da HSDC'er typisk bliver tilsluttet transmissions- og ikke distributionsnettet, kan man se bort fra kapaciteten på distributionsnettet og nøjes med at vurdere kapaciteten på transmissionsnettet. Her har billedet hidtil været, at der i Nordsve-

rige har været ledig kapacitet, da store forbrugere – pappersbruk (papirfabrikker) er lukket og efterladt ledig kapacitet, som HSDC har kunnet overtage. Desuden har Sverige i nogle år haft svært ved at transportere tilstrækkelige mængder strøm sydpå i landet, hvorved der har været en overkapacitet i Nordsverige. I Norge har vi set, at interne begrænsninger⁶³ i det norske transmissionsnet har i praksis har begrænset kapaciteten på transmissionen til Danmark.

I Danmark har vi set, at HSDC-operatørerne har fundet spots ved transformatorstationer på transmissionsnettet og der er stadig nogle uudnyttede spots tilbage. Hvis der opstår flaskehalse i transmissionsnettet vil dette skulle udbygges. Dette er alt andet lige billigere i flade tyndt befolkede områder som Danmark, Irland, Finland og de relativt flade områder i det østlige Sverige, hvor HSDC'erne er placeret. Derimod er det relativt dyrt i det stærkt kuperede Norge, Island og tæt befolkede Benelux. Disse omkostningsniveauer kan også have indflydelse på den nuværende kapacitet. Det skal dog bemærkes at COWI ikke har ikke udført en detaljeret selvstændig analyse af transmissionsnettet.

B.1.7 Egnede placeringer (flad mark)

Med egnede placeringer menes her adgang til egnede lokaliseringsmuligheder, det vil sige i hvilket omfang kan man datacenter-operatør få adgang til arealer, som er velegnede til opførelse af store datahaller. HSDC-operatørerne lægger her stor vægt på dels at have adgang til at arealer, som er egnede til store industribygninger, dels at have mulighed for kunne udvide det enkelte datacenter.

I det omfang parameteret udelukkende handler om adgang til arealer, er der p.t. primært tale en teoretisk udfordring, idet der vurderes at være adgang til tilstrækkelige arealer i alle europæiske lande. I det omfang at adgangen til egnede skal kobles med de øvrige parametre, så som nærhed til fiberforbindelser, adgang til en grøn energiforsyning eller adgang til områder med stor kapacitet på transmissionsnettet, så vil valgmulighederne snævres ind. Alt andet lige må mindre og tæt befolkede lande som eksempelvis Benelux-landene og Danmark dog vurderes at stå en smule svagere på dette område. I Norge kan landskabet (mange klipper) også være en barriere.

Norden vs. Resten af Europa

På dette område må Norden i praksis vurderes at have forudsætninger som ligger tæt på det øvrige Europa. Internt i Norden vurderes Danmark og Norge i princippet at stå en smule svagere end det øvrige Norden.

B.1.8 Fiberforbindelser

International båndbredde og konnektivitet

Datacentertjenester er afhængige af, at de understøttes af et datatransportnetværk, der giver mulighed for stor og hastig udbredelse. Derfor er elementer som

⁶³ http://energitsynet.dk/fileadmin/Filer/0_-_Nyt_site/EL/Tilsynsafgoerelser/2017/SK4Bilag-off.pdf Bilagsside 32

konnektivitet og båndbredde vitalt i beslutningsprocessen. Båndbredde handler om den teknologi, der benyttes til dataoverførsel, og her er fiberoptisk transmission pt. klart den overlegne teknologi. På længere sigt venter man på, at 5G mobilnettet vil kunne substituere noget af denne kapacitet, primært i byer og edge til brug for IoT, når den bliver endeligt tilgængelig. Det vurderes at 5G så småt kan begynde at spille en rolle efter 2020.

Latenstid er en anden vigtig faktor for en del af dataindholdet. Særligt trading-systemer i den finansielle verden samt andre realtidsapplikationer har behov for kort latenstid. Også her er fiberoptik klart overlegen i forhold til andre teknologier. Det optimale sted at placere et HSDC ud fra disse kriterier er der, hvor der er rigelighed af installerede fiberoptiske netværk (de store investorer ønsker at have adgang til deres egne sorte fibre⁶⁴ og til selv sætte transmissionsudstyr på), og hvor der kan opnås en central placering i forhold til brugerne af disse data-tjenester og rigeligt med fiberoptiske forbindelser ud i verden.

Status i dag er, at den nordlige del af Vesteuropa har en høj tæthed af fibernet og flere uafhængige leverandører af fiberforbindelser, hvilket vægter tungt for HSDC-investorerne.

En stor og væsentlig parameter i disse beslutningsprocesser er, at der er så direkte adgang til andre kontinenter som muligt. Når amerikanske investorer undersøger europæiske lokaliseringmuligheder, er det adgangen til USA, der er vigtigst, da de har stor dataudveksling og interaktion over Atlanten. For kinesiske selskaber kan det være stærke fiberoptiske forbindelser mod øst, der er udslagsgivende.

Latenstiden på datapakker er vitale, og længden på den fysiske fiber afgør forsinkelsen, da al data i fiberoptiske kabler rejser med lysets hast.

Norden vs. Resten af Europa

I Europa er Irland og UK fysisk tættest på USA, og der er en stor mængde søkabler, der forbinder de britiske øer med USA og videre til det kontinentale Europa. Det er en medvirkende årsag til, at primært Irland har været førstevalg af destination i Europa for de store HSDC-investorer. Benelux har også en velegnet placering og har et af datacenter-knudepunkterne (FLAP) i Europa, med Amsterdam som omdrejningspunkt for en række søkabelforbindelser.

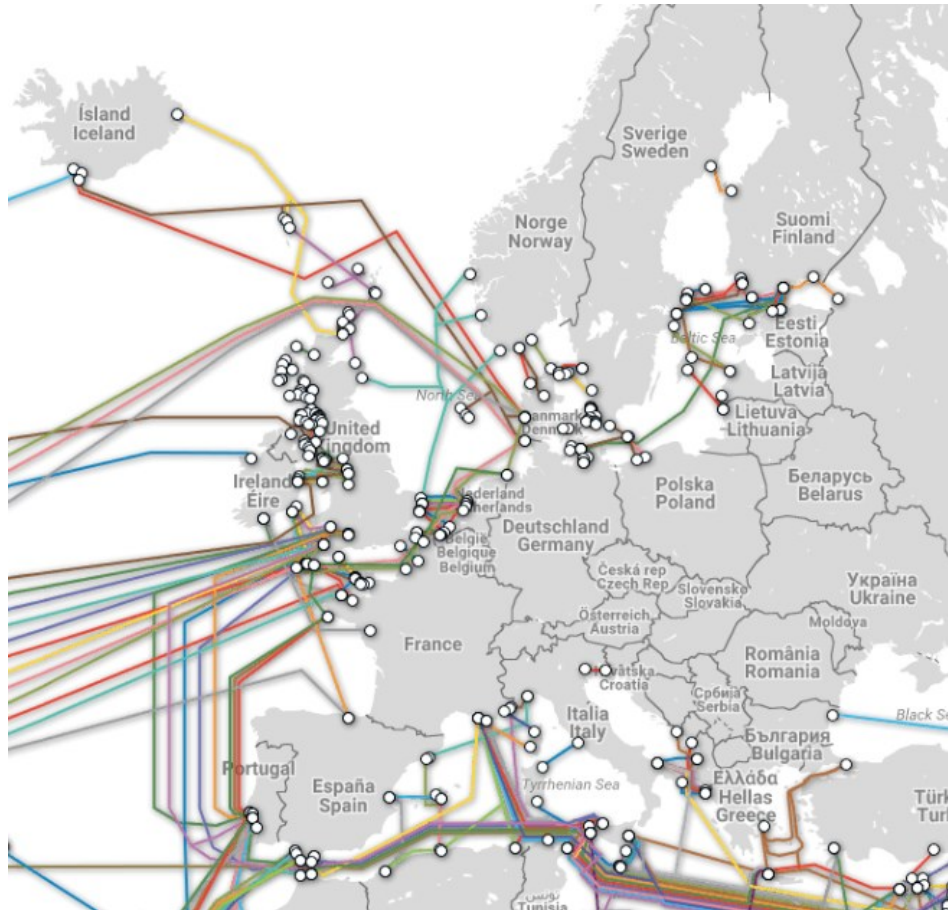
I Norden står Danmark og Island bedst, med direkte søkabler til USA og UK. Sverige er også velbeliggende, primært fordi Telia har etableret et internationalt fibernetværk i topklasse, men trafikken skal stadig over DK for at komme til USA.

Norge er dårligst forbundet, og det er en af årsagerne til, at investorerne p.t. ikke kommer så langt i deres sonderinger her. Der er dog initiativer på vej her, og Norge forventes at komme med udspil til statsligt tilskud til forbedret international konnektivitet, måske allerede i 2018. De seneste markedsrygter går på, at

⁶⁴ Fibre, som er reserveret til en kunde.

flere nye søkabler vil blive etableret via den danske vestkyst inden for få år, dels nyt transatlantisk kabel til USA, dels et DK/UK/IRL-kabel. Energinet DK's kabler til Holland og UK forventes at indeholde fiberoptiske fiberpar.

Figur B-1 Internationale Fiberoptiske forbindelser i Europa – December 2016⁶⁵



B.1.9 Grøn energiforsyning

I stigende grad søger HSDC-operatørerne at drive deres HSDC'er energieffektivt og bæredygtigt af hensyn til omkostninger og virksomhedernes CO₂-aftryk. Datacentre bruger i dag ca. 3 % af verdens elektricitet, så der er stor bevågenhed på forbrugssiden, fra både NGO'er og slutbrugere af indholdstjenesterne. Derfor har det betydning for HSDC-operatørerne at placere sig steder, hvor der er relativt stor energi-rigelighed.

⁶⁵ <http://submarinecablemap.com/> alternativt: <https://www.cablemap.info/>, med angivne kapaciteter

Jo mere knap energien - og særligt elektricitet - forekommer at være i et land, jo større er risikoen for, at en stor energiforbruger vil opleve dårlig omtale. COWI vurderer, at især Nordsverige og Norge har stor energirigelighed, mens det i Danmark primært er Vestdanmark (DK1), der i europæisk sammenhæng har energirigelighed.

Norge er en stor nettoeksportør af elektricitet til det europæiske fastland, og Nordsverige (SE1 og SE2) eksporterer store mængder elektricitet til Sydsverige (SE4).

Energirigelighed har også en betydning for forsyningssikkerheden, idet manglende forsyning både kan skyldes energiknaphed (effektmangel) og havarier i forsyningssystemet, og især en kombination heraf. Risikoen for, at havarier på kabler, transformatorstationer og elproduktionsanlæg påvirker forsyningssikkerheden, er både afhængig af den tekniske tilstand af disse anlæg samt graden af redundans i systemet. Effekten på den samlede forsyningssikkerhed behandles nedenfor.

Vedvarende energi

Den gennemsnitlige nordiske produktion af el baseret på vedvarende energi, som i 2014 udgjorde 62 % af elforsyningen, hvilket er højt i et internationalt perspektiv. Gennemsnittet i resten af EU var 22 %⁶⁶. I Norge er stort set hele den indenlandske energiforbrug dækket af den naturlige vandkraftressource, Sverige har også en stor del vandkraft samt vindkraft, Finland har den ikke særligt populære atomkraft, og Danmark har primært vindkraft og biomasse.

Den høje andel af vedvarende energi i elsystemet medfører, at eventuelle datacentre i Norden vil kunne opnå en forholdsvis grøn profil ved tilslutning til energinettet. Trenden er dog for de store HSDC-investorer at investere yderligere i egne VE-projekter eller i certifikater. Her holder NGO'erne øje med værdien af disse projekter og additionalitet til eksisterende indregnede CO₂-besparelser. I en verden med stadigt stigende fokus på bæredygtighed og overvågning fra NGO'er, har mange store internetgiganter igangsat ret store VE-investeringer primært i vind, men også i sol. Eksisterende VE-ressourcer, som i Norden typisk er vind- og vandkraft, regnes ikke for additionelle.

Da Europa i princippet er ét stort energitransmissionsnet, kan man argumentere for, at de additionelle VE-projekter kan placeres næsten hvor som helst. Der er dog en tendens til, at hvis et HSDC ligger i eks. Norden, skal projekterne også placeres her, ikke nødvendigvis i samme land som HSDC'et, men i regionen. Det har medført en række investeringer, p.t. primært fra Google side til deres Hamina-site.

Innovative energiløsninger

Ved udnyttelse af overskudsvarme kan der opnås flere synergieffekter. De store energimængder fra HSDC kan udnyttes, og overskudsvarmen kan benyttes til

⁶⁶ Kilde: Business Sweden præsentation november 2015

flere formål. I Holland har Microsoft talt om at levere overskudsvarme til kæmpe tomatproducerende drivhuse⁶⁷. Her i Norden har vi, særligt i Danmark, fint udbredte fjernvarmenet, der kan aftage dele af overskudsvarmen.

Dette giver mulighed for at spare det brændsel, som alternativt ville skulle anvendes til den erstattede fjernvarmeproduktion. Derudover kan der opnås en økonomisk gevinst for datacentrene. Potentielle datacentre vil kunne spare både omkostninger og energiforbrug til bortkøling af varmen, og derudover vil de kunne opnå en fortjeneste ved salg af overskudsvarmen, som ellers bare ville være et spildprodukt uden værdi. Endelig er dette en attraktiv brandingmulighed over for den nære omverden.

Der er i dag etableret meget få projekter af denne type, primært Yandex i Finland og Fortums system i Stockholm er p.t. flagskibsprojekter på verdensplan. Også i Danmark er der undersøgelser i gang, men totaløkonomien og rammebetingelser, i form af afgiftspålæggelser på varmen forsinker endelig beslutning og idriftsættelse.

Af andre innovative energiløsninger kan nævnes det projekt, Apple har igangsat med Aarhus Universitet i Foulum. Her investeres to cifrede millionbeløb i DKK på at benytte nye generationer af biomasse. Formålet synes at være, at Apple vil sikre sig fremtidige stabile og selvejende energiproduktionsfaciliteter, således at man ultimativt kan få en mere klimabevidst forsyningsstrategi, herunder også opnå uafhængighed af eksterne nationale gasleverandører og sikre yderligere redundans i energiforsyningen.

Sådanne initiativer og nationale rammer og ressourcer, der spiller ind i denne innovative dagsorden, er investorerne meget interesserede i. Det er jo typisk virksomheder med stor innovationskraft inden for de områder, de strategisk vælger at fokusere på.

Bæredygtig anvendelse af primært vand

Adgang til store mængder vand til køling er vitalt for nogle HSDC'er, afhængig af design. Hvor nogle benytter sig af luftkøling, benytter andre vandkøling. Derfor har vandressourcer i mange tilfælde været fremhævet som et vigtigt parameter.

Vand er væsentligt, og nogle investorer har et specielt forhold til at benytte grundvand, da det er en af de knappe og livsvigtige ressourcer på verdensplan. HSDC-operatørerne er vant til at benytte overfladevand, som er af ringere kvalitet som drikkevand. Derfor kan det kræve en omstilling, hvis grundvand vurderes mest egnet til køling i Danmark.

Norden vs. Resten af Europa

Med hensyn til grønne og bæredygtige energiløsninger, er der ingen steder i verden, som står stærkere end Norden. Flere europæiske lande har dog fordelagtige rammebetingelser for etablering af nye VE-projekter, vind, sol og biomas-

⁶⁷ <http://www.independent.ie/business/irish/tech-giants-eye-irish-led-green-data-centre-plan-34962758.html>

se. Norden er godt brandet som det grønne område at placere sit HSDC, og det har en klar effekt i beslutningsprocessen. Benelux, Tyskland og UK/Irland har også en del VE-projekter med de store HSDC-ejere som investorer på den ene eller anden måde.

Med hensyn til innovative energiløsninger, er Norden godt stillet bl.a. med stor udbredelse af fjernvarmenet, særligt Danmark. Herudover er vi fleksible og kendte for grøn innovation i området, men også franske, hollandske og tyske innovative miljøer konkurrerer med her.

Norden har store mængder vand at benytte til køleformål, også på en bæredygtig måde. Det samme har flere regioner i Europa, hvad angår affaldshåndtering og -fraktionering er andre regioner end Norden længst fremme.

B.1.10 Forsyningsikkerhed

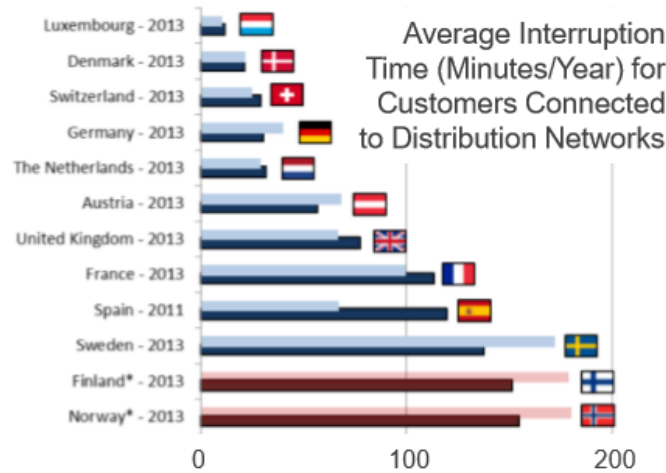
Forsyningsikkerhed er en helt fundamental forudsætning for, at et HSDC kan drives tilfredsstillende og dette parameter har absolut topprioritet, både på nationalt og regionalt niveau. F.eks. vil man ikke risikere at skulle være afhængig af russisk gas, mens på det regionale niveau er det et spørgsmål om rigelighed i produktion og redundant elforsyning og opetid i nettet.

Blandt andet af den årsag vælger Apple at indgå aftale med Aalborg Universitet og Aarhus Universitets Jordbrugsvidenskabelige Fakultet i Foulum om udvikling af nye generationer af biomasseanlæg til bæredygtig brug for egen energiproduktion i fremtiden⁶⁸.

Den nordiske elforsyningsikkerhed er, målt som sandsynligheden for, at der er el til rådighed time for time året rundt, i toppen i et internationalt perspektiv. Danmark ligger på niveau med Holland, Tyskland og Schweiz, bedre end UK og Irland og de øvrige nordiske lande (som dog er blevet mere stabile de senere år, særligt Sverige), tydeligt bedre end Sydeuropa og langt bedre end Østeuropa. Se figurer nedenfor.

⁶⁸ Kilde: <http://dagbladet-holstebro-struer.dk/erhverv/biomasse-fra-landbruget-skal-levere-stroem-til-apple#!>

Figur B-1 Energi-forsyningsikkerhed Europa⁶⁹

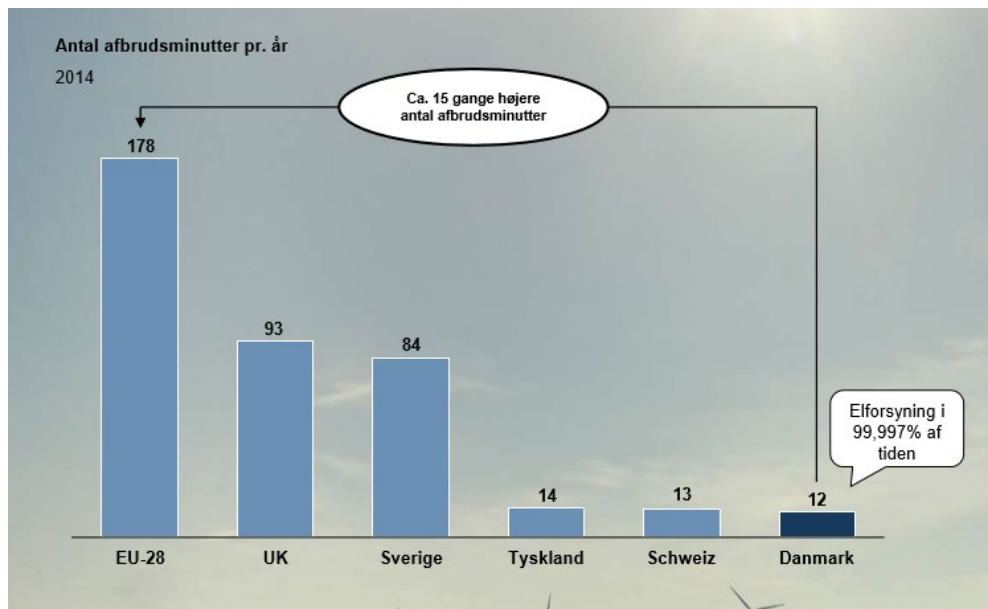


2005-2014 Energy Not Supplied (ENS)

Country	ENS*10 ⁶ / Consumption (ppm)	Availability
Denmark	0.6	99.9999%
Finland	4.2	99.9996%
Sweden	13.3	99.9987%
Norway	25.6	99.9974%
Iceland	75.3	99.9925%

SOURCE: CEER (12 FEB 2015) AND ENTSO -NORDIC AND BALTIC GRID DISTURBANCE STATISTICS 2014 (21 OCT 2015)

Figur B-2 Afbrudsminutter på europæiske markeder fra DONG CEO Henrik Poulsen⁷⁰



⁶⁹ Kilder: CEER og ENTSO 2015

⁷⁰ Præsentation – DONG oktober 2016

Norden vs. Resten af Europa

I forhold til de konkurrerende markeder i Europa, har Norden relativ større energirigelighed end det øvrige Europa. Eksempelvis er en af de lokale indvendinger mod Apples nye datacenter ved miljødomstolene i Irland, at datacenteret vil bruge en forholdsmæssig stor del af den totale energiproduktion og dermed potentielt kan skabe problemer for den nationale forsyningssikkerhed.

De britiske øer er i denne forbindelse relativt mere udsat, på grund af deres geografiske afkobling fra øvrige Europa. Danmark står til gengæld stærkt blandt de nordiske lande som bindeled imellem det kontinentale elforsyningssystem fra Tyskland og det nordiske forsyningssystem fra Sverige og Norge. Internt i landene kan der være stor forskel på egnetheden for placering af datacentre. I Danmark er Vestdanmark klart at foretrække frem for øst, da der i øst er større produktionsknaphed.⁷¹ I både Sverige og Norge er der regionale kraftcentre for elproduktion fra vandkraft med flere fysisk redundante forsyningsskilder. Det er indlysende, at i Norden står Sverige (primært nord for Mälardalen, prisområderne SE1 og SE2) og Norge meget stærkt med deres store kapacitetsoverskud.

B.1.11 Klima

Landene i Norden har et forholdsvist køligt klima, hvilket medfører, at serverkølingen i højere grad kan baseres på frikøling, hvor udeluft anvendes til at køle serverne. Man vil derved kunne reducere energiforbruget til at nedkøle datacentre betydeligt, og virksomhederne vil kunne opnå en grønnere profil samt store økonomiske besparelser ved at vælge en placering i Norden.

Dette vil ikke i så høj grad være muligt i lande, hvor gennemsnitstemperaturen er højere, da lufttemperaturen vil være for høj i længere perioder.

Ifølge Köppen-Geiger klimaklassifikationen⁷² har Nordsverige, det meste af Norge og det meste af Island subarktisk klima, Sydsverige og det meste af Jylland/Fyn har tempereret kontinentalt klima, mens Irland og Benelux har tempereret kystklima. Da alle lande i sammenligningen er placeret i Nordeuropa er det dog mest for forhold til placeringer i Central-, Øst- og Sydeuropa, at der er væsentlige klimatiske forskelle. Disse steder er der typisk væsentligt varmere somre, som kan betyde store omkostninger til køling.

Norden vs. Resten af Europa

På begge ovennævnte klimafronter står Norden godt, idet det kølige klima giver fordele af miljømæssige og driftsøkonomiske årsager.

B.2 Konkurrenceposition for Norden vs. resten af Europa og internt i de nordiske lande

Den nordiske region står overordnet godt i det samlede konkurrencebillede med hensyn til at tiltrække europæiske HSDC-investeringer, men der er andre regio-

⁷¹ Kilde: Energinet.dk

⁷² Peel, M. C. and Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007)

ner, der er konkurrencedygtige. Nedenfor præsenteres en kort analyse af landenes individuelle styrker og svagheder.

Investorer kigger imod Europa, dels for at komme tæt på en digital veludviklet, og stor og købestærk befolkning og erhvervsliv, dels for at leve op til forventninger om tilvejebringelse og overholdelse af europæiske dataforordninger.

I takt med at datamængden på verdensplan stiger, er etablering af HSDC-kapacitet er påkrævet, og derfor ser vi i disse år en stigning i antallet af projekter i Europa.

Norden har vist sig på kort tid at være meget konkurrencedygtig og en foretrukken region til placering af HSDC-investeringer fra primært USA. Denne stigning forventes at fortsætte med markedsudviklingen. Der er dog også andre regioner og nationer i Europa, der nærer stor interesse for at tiltrække disse relativt store investeringer.

Jo længere nordpå i Europa man kommer, desto større er sandsynligheden for at have de bedste rammebetingelser for at tiltrække HSDC.

Flere store europæiske lande, som UK, Tyskland og Frankrig har af forskellige årsager ikke de rette rammer i dag. Til gengæld vil de til stadighed tiltrække en del investeringer, alene på grund af deres store økonomiske rolle og befolkningsstørrelse. Co-location-koncentrationen vil stadig være størst i London, Frankfurt og Paris, og cloudvirksomheder som AWS, MS og Google vil lave regionale setup's, med et mix af egne HSDC og Co-location partnere, men de store "Built for purpose"-HSDC'er vil til stadighed kigge mod de særlige markeder, som er nævnt neden for.

De senest år har følgende regioner tiltrukket de største investeringer og flest HSDC i Europa:

- 1 Irland
- 2 Norden
- 3 BENELUX.

Det rette mix af rammebetingelser, som også er beskrevet i denne bilag, er i særlig grad til stede i disse lande. Det betyder, at når investorer nærmer sig afgørende beslutninger om udvælgelse af lokationer, er disse nationer i spil hver gang.

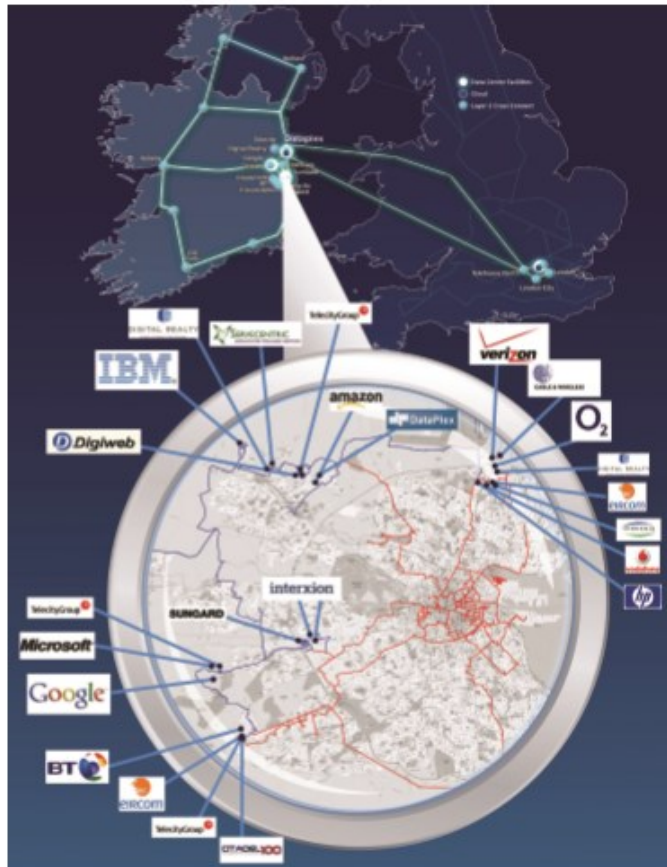
Neden for beskrives kortfattet styrker og svagheder for hvert af de givne lande/områder.

B.2.1 Irland:

De fleste HSDC-investeringer er ind til nu blevet placeret i Irland. Amazon, Apple, Facebook, Google, and Microsoft er veletablerede, og tilsammen investerede de mere 2 milliarder USD i Irland i 2014, og de har yderligere udvidelsesplaner i pipelinen, f.eks. Apple i Galway, Facebook, samt MS med regional cloud⁷³.

Figur B-3 Overblik: internationale it-selskaber til stede i Irland⁷⁴

FIGURE 6: DUBLIN-AREA BUSINESS PARKS AND THE T50 FIBER RING⁷⁴



There are a number of global carriers in Ireland that offer multiple diverse routes on and off the island. Providers include AT&T, BT, Cogent, euNetworks, Geo, Level3, Verizon and Vodafone.

"Host in Ireland", den irske pendant til "Invest in"-organisationerne I Norden, har I årevis kørt en effektiv kampagne for Irland. De er tæt beslægtede og har nære bånd til USA og et fælles sprogligt udgangspunkt har haft betydning for disse relationer.

Irlands styrker

- > Favorable skattevilkår for udenlandske investorer, hvorfor landet også huser flere af de oversøiske investorers hovedkontor i regionen.

⁷³ Kilde Cushman & Wakefield

⁷⁴ Kilde: Host in Ireland

- > Kort afstand til USA, og lav latenstid pga. god konnektivitet.
- > Stærk lokalforankret supply chain, mange af de etablerede leverandører af HSDC-komponenter og løsninger kommer fra Irland.

Irland svagheder

- > Vigende energiforsyningsikkerhed som ø-nation langt væk fra resten af europæiske infrastruktur.
- > Scorer lavere på "Ease of doing business" med seneste miljøgodkendelses sag for Apple, der kommer til at skubbe deres procesforløb med op imod 2 år.
- > Første bølge af placeringer tæt på europæisk hovedkvarter kan være slut.

B.2.2 Holland/Benelux

De tre Benelux-lande omtales som en enhed, når der tales om datacentre. Det er dog Holland, der har fået placeret flest HSDC'er. Årsagen til at Belgien er med, er alene, at Google har etableret mellemstort datacenter i Mons for år tilbage. Luxemburg er historisk stærk på finansielle ydelser og i den finansielle verden og har en gunstig beskatning for e-handel-aktiviteter på blot 3 %, Luxemburg har høje tierniveauer i deres etablerede datacenterbase, men alene af pladsmæssige grunde er Luxemburg ikke et relevant sted at placere et HSDC.

Holland har en tosidet mulighed; 1) der er lukrative forhold for "built for purpose" HSDC og 2) de har igennem en politisk satsning⁷⁵ etableret en top 4 co-location Hub i Europa med masser af konnektivitet og over 800 service providers i klyngedannelse der. Dette har ifølge Deloittes rapport fra 2015 skabt mere end 7000 jobs de seneste 10 år og dertil udenlandske investeringer.

Hollands styrker

- > Ligger i top 3 på flere områder: konnektivitet, forsyningssikkerhed og flade jorde.
- > Alle sites relativt tæt på Amsterdam Internet Exchange knudepunkt.

Hollands svagheder

- > Mange af de tilgængelige flade arealer er oversvømmingstruede.
- > Får konkurrence fra bl.a. Norden på den konnektivitet, de tidligere har hævdet, var unik.
- > Den centrale Invest in-organisation synes at være mindre synlig end tidligere på dette område.

⁷⁵ Politisk beslutning om hubtænkning år tilbage med sats på 1) Schipol som lufthub, 2) Rotterdam som vand hub og 3) Amsterdam som data/ICT hub

B.2.3 Norden

Norden fremstår som samlet tilbud til HSDC-investorer i flere sammenhænge. "Invest in-organisationer" har slået på landenes fælles styrker og har visualiseret rammebetingelserne inden for de seneste år. Generelt fremstår Norden som det omkostningseffektive valg med store vedvarende energimængder til fremtidens grønne HSDC.

Lige nu er Danmark og Sverige de foretrukne nationer at investere i, for segmentet. Norge mangler enkelte vitale rammebetingelser, primært konnektivitet, for at være iblandt de foretrukne nationer for denne forretning. Finland havde omkring 2012 et boom med Googles ankomst, siden har de øvrige nordiske lande overhalet indenom. Det synes bl.a. at være Finlands geografiske nærhed til Rusland, der influerer negativt. Til gengæld kan fremtidige asiatiske investorer vise sig interesserede.

Herunder er landene kort præsenteret med deres styrker og svagheder:

B.2.4 Sverige

Svenskerne har en stærk og gennemslagskraftig salgsorganisation i Business Sweden; derudover bruger udviklere i form af regioner, kommuner og energiselskaber mange markedsføringskroner på at promovere Sverige som DC nationen i Europa.

Sveriges styrker

- > CO₂-venligt energimix + VE-muligheder
- > Lave energipriser
- > Alle sites relativt tæt på Stockholm Internet Exchange knudepunkt (primært fordel internt i Norden).

Sveriges svagheder

- > Relativ lang behandlingstid for myndigheder
- > Ikke i top på el-forsyningsikkerhed på landsbasis.

B.2.5 Danmark

Danskerne har, som svenskerne, en stærk og gennemslagskraftig salgsorganisation i Invest in Denmark, som også er den primære markedsfører af Danmark som den foretrukne HSDC-nation i Europa. Danmark har, i nordisk kontekst, tiltrukket flest store built for purpose-HSDC'er.

Danmarks styrker

- > Bedste konnektivitet i den kontinentale del af Europa
- > Ligesom Sverige og Norge, men med øget mulighed for innovation med overskudsvarme i fjernvarmesystemet

- > Hurtig og smidig myndighedsbehandling
- > Centralt hub til Europa og den vestlige verden for Norden (internt i Norden).

Danmarks svagheder

- > Selv med PSO-udfasning ligger energiprisen højere end øvrige skandinaviske lande
- > Relativt højt skattetryk på arbejdskraften

B.2.6 Norge

Nordmændene har prøvet at tiltrække HSDC'er seneste år, men har ikke lykkedes med tiltrækning af internationale investorer til purpose built HSDC'er. Der er dog på bagkanten af kampagnen for tiltrækning af HSDC'er kommet er par markante nationale investeringer, som man nu skal forsøge at drive andre investeringer med.

Norges styrker

- > Tæt på 100 % VE via vandkraft (dog ikke additionalitet).
- > Europas laveste prisniveau på el.

Norges svagheder

- > Relativt lang behandlingstid for myndigheder
- > Manglende konnektivitet til UK, US og kontinental Europa (dette kan dog ændre sig i nær fremtid)
- > Visse steder høje grundskatter (kan ændre sig i nær fremtid)
- > Geografisk placering lidt i udkanten af det centrale Europa, ikke EU-medlem.

B.2.7 Finland

Finland havde muligheden med firstmover-rollen ved at få Google til Hamina i 2012. Siden da er aktiviteten gået i stå af forskellige årsager.

Finlands styrker.

- > Relativt tæt på Asien (mangler dog direkte fiberforbindelser)
- > Kendt for et højt innovationsniveau.

Finlands svagheder

- > "For tæt på Rusland" (ifølge amerikanske virksomheder).

Ligger i udkanten af Norden ift. til den vestlige verden.

Appendix C Anlægs- og driftsomkostninger

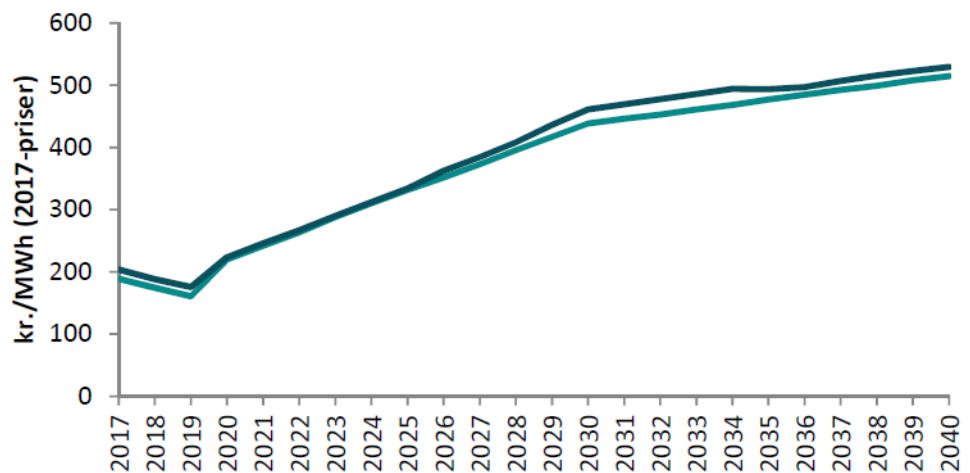
Anlæg		
1 datacenter, initialomkos	150 MW	investering
	Bygge- og anlægsarbejder, inkl. installationer	200.000.000
		200.000.000
1 modul	30 MW	
	Bygge- og anlægsarbejder, inkl. installationer	1.050.000.000
	Racks med servere	2.100.000.000
	Total	3.150.000.000
Lønandel blandet anlægsarbejde		48%
Investering fuldt udbygget datacenter		15.950.000.000
Andel udenlandsk arbejdskraft (anlæg og drift)		30%
Tidslinje for datacentre		
Forberedelse	2 år	
Bygning	1 år	
Opfyldning med moduler	2 år (serie-idriftsættelse)	
Opfyldning af selve modulet	2 år	
Drift		
Datacenter	40 mand i driften	
modul	30 MWe	95% Kapacitetsudnytte
modul	20 mand i driften	1,1 PUE
modul	7,5 mand på servicekontrakter fra eksterne firmaer	
Lønandel drift	100%	
Andre inputs		
Servicekontrakter	900 DKK/time	
El (markedspris gns DK1)	262,82 DKK/MWh	
Antal timer pr. årsværk	1600	
Prisår	2017	

Appendix E Elpriser

COWI har ikke foretaget en selvstændig vurdering af de fremtidige elpriser, men refererer i dette afsnit to forskellige tilgange til estimering af de fremtidige elpriser, nemlig metoden anvendt i Energinets analyseforudsætninger 2017 og en elhandlers prisindikationer.

I analyseforudsætninger 2017 modelleres og fremskrives både udbud og efterspørgsel (inkl. datacentre) på elektricitet under hensyntagen til de danske udlandsforbindelser, hvor der ligeledes er en forbrugs- og produktionskapacitet installeret. Fremskrivninger af brændselspriser fra det Internationale Energiagentur er ligeledes inkluderet i modellen, der som et af sine outputs har nedenstående graf.

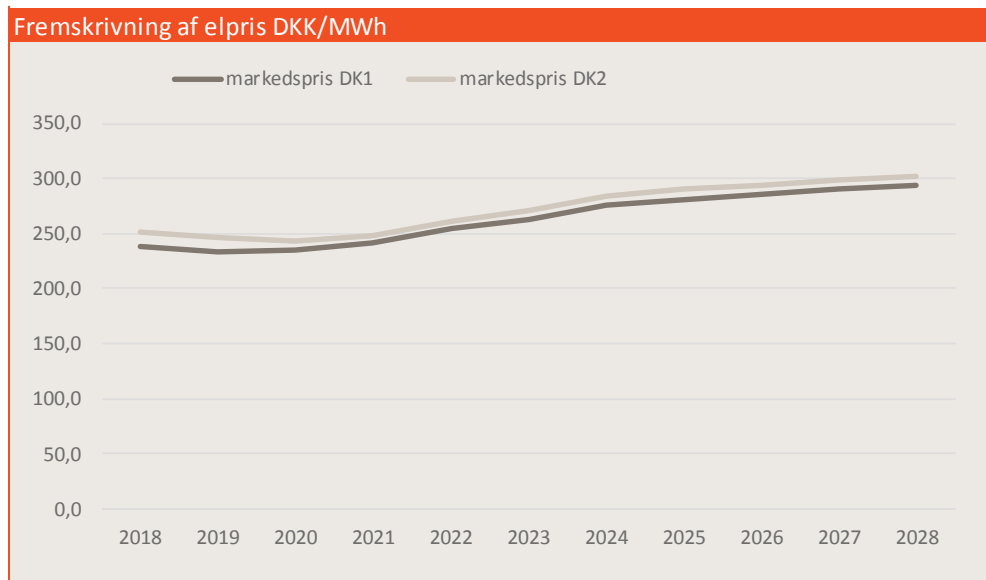
Figur E-1 Elprisfremskrivning fra Energinets analyseforudsætninger 2017



Når man efterspørger en elhandlers prisindikationer på fremtidens elpriser, er tilgangen at vurdere, til hvilke priser, der kan findes modparten, som er villige til at handle. Dette gælder både køb og salg, og elmarkedets bedste bud på en fremtidig elpris er dermed midt i mellem de niveauer, som aktørerne stiller som hhv. købs- og salgspriser. I de nærmeste perioder med høj likviditet - hyppige handler med stor volumen - er vurderingen nogenlunde ligetil, da der findes en stor mængde data, der kan anvendes til at vurdere niveauet.

På den længere bane er alting mere usikkert: der er færre handler og dermed mindre viden om markedets forventning, hvorfor der er større spredning mellem de priser, som aktørerne er villige til hhv. at købe og sælge til. Ikke desto mindre kan man godt inden for de nærmeste 10 år få aktørerne til at stille købs- og salgspriser, hvorfor markedets forventning godt kan udledes. Kommer vi på den anden side af 10 år, bliver likviditeten i markedet og aktørernes villighed til at sætte priser mindre, hvorfor det giver mindre mening at forsøge at udlede markedets forventning.

Figur E-2 Elmarkedets forventning til fremtidige elpriser



Det fremgår af graferne, at hvor analyseforudsætningerne fremskriver elpriserne til op imod 400 DKK/MWh i 2027, når markedets forventning til elpriserne kun op ca. 300 DKK/MWh.

Vurderingen af markedets elpriser er prisindikationer stillet af Energi Danmark A/S pr. 18. januar 2018 og nedenstående forklaring af elpriserne er foretaget på baggrund af interview med Mike Thygesen, Head of Treasury i Energi Danmark A/S pr. 29. november 2017. Her følger korte redegørelser for markedets aktuelle overvejelser:

E.1 Interview med markedsaktør

Markedet forventer en stigende pris over tid – priserne i DK1 bliver isoleret set understøttet af en pæn efterspørgselsstigning, bl.a. pga. de nævnte datacentre. Det er dog ikke muligt at udlede eksplicit, hvor stor effekt de forventede HSDC etableringer har på prisforventningen eller hvor stort et forbrug fra HSDC'er markedet forventer.

I gennemsnit frem til og med 2028 forventedes pr. 18. januar 2018 en gennemsnitlig elspotpris på 262 DKK/MWh i DK1 og 272 DKK/MWh i DK2.

Men ud over HSDC'er, er der mange andre usikkerhedsfaktorer, der kan påvirke prisdannelsen på både efterspørgsels- og udbudssiden. Der kan nævnes udbygning af vind- og solenergi, øget brug af el på grund af omlægning til elbiler, lagring af el mv. Ud over dette har vi den helt store prispåvirker fra politisk side, ikke mindst sat i spil efter de tyske koalitionsforhandlere, hvor både udfasning af kulkraftværker og indførelse af et carbon floor på samme måde som det er set i både UK & Holland, vil kunne drive elpriserne yderligere op.

Datacentre er således en blandt mange faktorer, der kan påvirke elpriserne.

Der er en tendens til, at placering af et HSDC i DK1 kan få en relativt større prispåvirkning end f.eks. i Tyskland eller Holland, da DK1 er et relativt lille prisområde, og et HSDC således vægter relativt mere. Effekten er gældende, når DK1 sætter sin egen pris, hvilket flere HSDC'er placeret i DK1 kan medvirke til, vil ske oftere i opadgående retning (kabler til DK1 fyldt op pga. import) og sjældnere i nedadgående retning (kabler til DK1 fyldt op pga. eksport). Dog vil der fortsat være mange timer, hvor f.eks. DK1 og Tyskland har samme elpris og hvor det derfor er ligegyldigt for elprisen om et HSDC placeres i DK1 eller Tyskland.

E.2 Perspektivering på elprisforventninger

Det fremgår af ovenstående, at de niveauer, som markederne forventer, og som analyseforudsætninger 2017 fremskriver, adskiller sig væsentligt. Derudover fremgår det, at markedet i langt højere grad forholder sig til aktuelle politiske debatter og udmeldinger samt forventninger til politiske udviklinger, og hvilke priser der aktuelt kan handles til.

Det har ikke været muligt at udlede HSDC-etableringens isolerede påvirkning af forventningen til fremtidige elpriser i hverken markedsforventningerne eller analyseforudsætninger 2017 – og heller ikke den samfundsøkonomiske effekt, som prispåvirkningen måtte have. Ovenstående afsnit viser dog, at tilgangen til fremskrivning af elpriser og resultaterne af elprisfremskrivningen adskiller sig væsentligt. Derfor bør det nøje overvejes, hvilken tilgang der anvendes, hvis Energistyrelsen eller andre på et senere tidspunkt ønsker en analyse af elprispåvirkningen og evt. de samfundsøkonomiske konsekvenser heraf.

Appendix F Litteraturliste

Litteraturstudie af datacenteranalyser

1. Ericsson Mobility report, November 2016

<https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2016/ericsson-mobility-report-november-2016.pdf>

- Deals only with mobile-related projections, and has forecasts up to 2022 on data traffic and number of mobile subscriptions. Saved under Basis.

2. The sixth annual Cisco® Global Cloud Index (2015-2020), 2016

<http://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>

- Documents from Cisco reports, including this, are noted in a separate document "GIDR Notes from Cisco Forecasts". Report is saved under Basis.

3. The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East, IDC study, Dec 2012

<https://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-the-digital-universe-in-2020.pdf>

- Uses data collected in 2005 to make forecasts for 2012 to 2020. Forecast figures are therefore superseded by other forecasts. Saved under Basis for review

4. Intel talks ultrabooks, mobile, but future rides on data centers, Kirk Skaugen, Intel developer forum, ZDNet, 2011

<http://www.zdnet.com/article/intel-talks-ultrabooks-mobile-but-future-rides-on-data-centers/>

- Article on Intels business tasks for the next few years, written in 2011, so probably redundant now. No relevant information in article anyway.

5. Strategy to create a world leading datacenter technology region, Norrbotten regional government, Sweden 2014

<http://www.lansstyrelsen.se/norrbottn/SiteCollectionDocuments/Sv/nyheter/rapport-strategi-skapa-varldsledande-teknikregion-NB-KLAR.pdf>

- Strategy document for attracting large data centres to Northern Sweden. Statement that ca. 200 new mega data centres (>5MW) need to be built in Europe in the period 2014-2020.

6. Digitizing Europe: Why Northern European Frontrunners Must Drive Digitization Of The EU Economy, The Boston Consulting Group, May 2016

<https://www.bcg.com/en-nor/perspectives/36553>

- Report deals generally with digitisation and evaluates Europe and individual countries within Europe. Has some ranking and figures that may be useful if using digitalisation rankings as a method of assessing how attractive Denmark may be for data centres. Report saved under Basis.

7. Investment in Networks, Facilities, and Equipment by Content and Application Providers, Analysis Mason Report, September 2014

<http://www.analysismason.com/CAP-Internet-Sept2014>

- Report on the investment in Internet infrastructure. The synopsis suggests that this is a report and not a forecast. Report is apparently available to download in its entirety with free registration, but registration does not seem to work.

8. Digital Infrastructure and Economic Development, Boston Consulting Group, 2014

<https://www.bcg.com/en-nor/perspectives/29050>

- An impact assessment of facebook's data centre in Northern Sweden, June 2014
- States that " Global data-centre demand will continue to increase, with more than 60 new large data centres expected in western Europe by 2020", not referenced directly to another source.
- Mainly an assessment on the economic impact on Sweden of data centres together with an analysis of potential for data centres in Sweden in the future. Could be useful to look at the methods used for assessment, and BCG have indexed and ranked counties and areas according to the attractiveness for data centres.
- Report saved under 'Basis'.

9. Finland's Giant Data Center Opportunity, Oxford Research, 2014

http://www.oxfordresearch.no/media/241351/finland_s_giant_data_center_opportunity_final_version.pdf

- Report assesses the opportunities for data centres in Finland and the measures to attract data centres to Finland. Statement that there will be 60 new large scale data centres in Western Europe by 2020. Report saved under Basis.

10. Capturing the datacenter opportunity: How Sweden can become a global front- runner in digital infrastructure, Boston Consulting Group and Business Sweden, 2016

<https://www.bcg.com/en-nor/perspectives/37800>

- Assesses the opportunities for data centres in Sweden and how Sweden can encourage data centre location in the country. Report saved under basis.

11. Data Centre Risk Index 2013, Cushman & Wakefield 2013

<http://www.cushmanwakefield.com/en/research-and-insight/2013/data-centre-risk-index-2013/>

- Link not found, superseded by number 14 below.

12. Data Centre Risk Index 2016, Cushman & Wakefield 2016

<http://www.cushmanwakefield.com/en/research-and-insight/2016/data-centre-risk-index-2016/>

- Ranks key existing and emerging locations as most attractive and detail show key shifting market realities are being addressed. Report is saved in 'Basis'. Denmark is not one of the countries assessed.

13. The Digital Economy & Society Index (DESI), EU Commission, 2016

<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi>

- DESI is a composite index that summarizes relevant indicators on Europe's digital performance and tracks the evolution of EU member states in digital competitiveness. Denmark ranks number 1 in the 2017 ranking.

14. The World Energy Trilemma Index, World Energy Council, 2016

<https://trilemma.worldenergy.org/>

- Ranks countries in their ability to provide sustainable energy via: Energy security, Energy equity (accessibility and affordability) and Environmental Sustainability. Denmark ranks number 1 in 2016 rankings.

15. Clicking Clean: How companies are creating the green Internet, Greenpeace, April 2014

<http://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/planet3/PDFs/clickingclean.pdf>

- Focuses on the use of renewable energy and ranks companies for green Internet provision, does not go into much detail of individual data centre use of location. Report saved in 'Basis'.

16. Clicking Clean: A guide to building the green Internet, Greenpeace, May 2015

<http://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/legacy/Global/usa/planet3/PDFs/2015ClickingClean.pdf>

- Update on the 2014 report. Saved in 'Basis'.

17. SENDATE cluster project in the frame of EUREKA/Celtic plus, 2016

<http://www.sendate.eu/>

- A project looking at data centre clusters in terms of location, security and flexibility. Not relevant to this project.

18. Moore's Law Is Dead. Now What? MIT Technology Review, 2016

<https://www.technologyreview.com/s/601441/moores-law-is-dead-now-what/>

- Article about developments in microchip technology. Not directly relevant to this project.

19. United States Data Center Energy Usage Report, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2016

<https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>

- Forecast energy use data for US data centres up to 2020. Report saved in 'Basis' folder. Possibly some data on increasing energy efficiency.

20. 2013 Census Report: Global Data Center Power 2013, DCD Intelligence, 2014
www.datacenterdynamics.com/download?ac=9053

- Report on data centre power consumption 2012-13. Not likely to be relevant to 2017 data centres.

21. Germany largest data center market in Europe: Energy consumption of data centers continues to increase – 2015 update, Borderstep Institute, 2016

[https://www.borderstep.de/wp-](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2015/01/Borderstep_Energy_Consumption_2015_Data_Centers_16_12_2015.pdf)

[content/uploads/2015/01/Borderstep_Energy_Consumption_2015_Data_Centers_16_12_2015.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2015/01/Borderstep_Energy_Consumption_2015_Data_Centers_16_12_2015.pdf)

- Short report outlining the energy requirements for data centres focused on Germany, and developments up to 2025. Some figures for Europe are included. Report saved under 'Basis'.

22. The Cloud is a Data Centre: Energy Impacts of Digital Living, Breakfast meeting under EUSEW, hosted by DIGITALEUROPE, 15th June 2016

<http://www.digitaleurope.org/Press-Room/Latest-News/News-Story/newsID/493>

- Notes of an open meeting of techUK discussing energy use in data centres. Details of the main presentors at the meeting, but no data on predictions included. Links to some reports which require company membership to access (needs payment).

23. The European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centre, EU 2016

http://iet.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/sites/energyefficiency/files/data_centre_coc_folder.pdf

- This link is to the general European code of conduct for Energy efficiency, a quick search shows no obvious link to data centres.

24. Assessment of the global mobile broadband deployments and forecasts for International Mobile Telecommunications, Report ITU-R M.2243, 2011

http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2243-2011-PDF-E.pdf

- Report written in 2011 and deals mostly with forecasts up to 2015. One forecast up to 2020, but likely to be out-of-date now in comparison with other sources. Saved in Basis for reference.

25. EMEA research on data centre energy and resource efficiency, TheGreenGrid, 2016 http://www.thegreengrid.org/events/EMEA_Roundtable3_2016.aspx

- Link not found.

26. What Will The Data Center of 2025 Look Like? In Datacenter Knowledge 2014
<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2014/04/29/will-data-center-2025-look-like/>

- Outlines potential trends in sizes of data centres, but may now be out of date compared to other sources.

27. BI Intelligence projects 34 billion devices will be connected by 2020, in Business Insider 2015
<http://www.businessinsider.com/bi-intelligence-34-billion-connected-devices-2020-2015-11>

- Report on the potential growth of the Internet of Things, running up to 2020. Access to the full report requires subscription and payment.

28. Open Compute Project: Gauging its influence in data centre, cloud computing infrastructure, in ZDNet, 2016
<http://www.zdnet.com/article/open-compute-project-gauging-its-influence-in-data-center-cloud-computing-infrastructure/>

- Article about increasing efficiency in data centres. No definitive numbers on efficiency improvements or timescale.

29. Find your datacenter <https://www.datacenters.com>

- Website for those looking to use a datacenter. Details of existing data centres, but appears to be only multi client data centres and not an overall list of all data centres.

30. Hyperscale Data Center Count Passes the 300 Milestone in December
<https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-count-passes-300-milestone-december>

Article by Synergy Research group which provides an overview of the number of data centres globally. No forecast, but data reporting from 2016.