

DANMARKS NATIONALBANK

9. MAJ 2019 — NR. 9

Likviditetsstresstest viser, at Kronos er robust

- Betalingsafviklingen i Kronos er centreret omkring to store deltagere, hos hvem et nedbrud kan øge de øvrige deltageres likviditetsbehov markant.
- Det usikrede pengemarkeds betydning for likviditeten i systemet er faldet fra 2009 til 2018, og deltagerne er ikke i nævneværdig grad påvirket af en nedbringelse af deres tilgængelige intradag-kredit.
- Deltagerne har rigelig disponibel likviditet, så effekten af et øget likviditetsbehov på betalingsafviklingen i alle de simulerede scenarier er begrænset og kan afhjælpes med Kronos' nødprocedurer.

Kronos er Nationalbankens betalingssystem for store tidskritiske betalinger og er hjertet i den danske finansielle infrastruktur. Analysen vurderer systemets robusthed, målt som ændringen i deltagernes likviditetsbehov og deres evne til at afvikle betalinger rettidigt, når systemet udsættes for stress i tre forskellige scenarier: 1. En stor deltager kan ikke afsende betalinger en hel dag, 2. pengemarkedet er utilgængeligt, og 3. deltagernes adgang til intradag-kredit reduceres.

Introduktion til Kronos

Kronos er betalingssystemet, hvori den endelige udveksling af likviditet for alle betalinger i danske kroner finder sted. Hvis én bank skal overføre penge elektronisk til en anden bank, foretages betalingen i Kronos, ved at den ene banks konto debiteres, og den anden banks konto krediteres i Nationalbanken. Kronos er i daglig tale bankernes netbank.

I august 2018 overgik Nationalbanken til et nyt system, Kronos2. Denne analyse baseres på data fra Kronos. Siden har deltagernes adfærd, hvad angår deres interbankbetalingers antal, værdi og tidspunkt, kun ændret sig en smule. Likviditeten i systemet er fortsat rigelig, og de pengepolitiske renter er som i 2016-17.

Kronos er et reeltidsbruttoafviklingssystem (*Real Time Gross Settlement System*, RTGS-system), altså afvikles betalinger i systemet øjeblikkeligt uden netting¹ i centralbankpenge. Kronos tjener tre hovedformål som platform for 1. store tidskritiske interbankbetalinger, herunder betalinger på vegne af deltagernes kunder, 2. pengepolitiske operationer, og 3. endelig afvikling af forpligtelser i tilknyttede systemer. De primære tilknyttede systemer omfatter Sum-, Intradag- og Straxclearingerne for detailbetalinger, VP-afviklingen og Target2Securities for handel med værdipapirer samt CLS for valutahandel.²

Systemet benyttes af 88 direkte deltagere, hvoraf de store danske pengeinstitutter afsender og modtager hovedparten af betalingerne målt på både antal og værdi. I Kronos blev der hver dag i 2018 gennemsnitligt afviklet betalinger for 144 mia. kr. svarende til 6,5 pct. af Danmarks BNP.³ Kronos er en kritisk del af den danske finansielle infrastruktur og kan karakteriseres som et systemisk vigtigt betalingssystem (*Systemically Important Payment System*, SIPS). Med denne stresstest efterlever Kronos de internationale overvågningsstandarder, som anbefaler, at systemets

likviditetsrisici løbende evalueres blandt andet ved brug af stresstests.⁴

Likviditetsrisiko i Kronos

Kronos er udsat for flere typer af risici, herunder operationel risiko, juridisk risiko og omdømmerisiko, men denne stresstest fokuserer udelukkende på likviditetsrisiko. Et teknisk nedbrud eller cyberangreb på selve systemets it-plattform indgår fx ikke i analysen.

Likviditetsrisiko er risikoen for, at systemets deltagere ikke har tilstrækkelig likviditet til at udføre deres betalinger rettidigt. Det kan skabe yderligere problemer for andre deltageres betalingsevne, når de baserer deres likviditetsstyring på en forventet strøm af modtagne betalinger. Én deltagers likviditetsproblemer kan dermed sprede sig igennem systemet via smitteeffekter til andre deltagere. Nationalbanken påtager sig ingen likviditetsrisiko, idet alle betalinger mellem deltagerne i et RTGS-system er øjeblikkelige, endelige og uigenkaldelige.

Stresstesten undersøger systemets robusthed over for stød til deltagernes likviditet under ekstreme, men plausible scenarier. Systemet forstås her i bred forstand som selve Kronos plus dets deltagere og overførsler til konti for dets tilknyttede systemer.

Hvis det findes relevant, kan en stresstest-analyse munde ud i konkrete ændringsforslag til både deltagernes adfærd og/eller systemets design, herunder køfunktionaliteter, sikkerhedsgrundlag og pengepolitisk døgn. Kronos vurderes i denne omgang at være robust over for de likviditetsstød, som påføres systemet, og analysen giver dermed ikke anledning til ændringsforslag.

Analysen opstiller først stresstestens metode og scenarier, herunder dens kritiske antagelser og tilhørende fejlkilder. Herefter gennemgås resultaterne

1 Netting summerer de skyldige beløb mellem parterne og samler betalingsstrømmen i så få transaktioner som muligt.

2 Se fx Danmarks Nationalbank (2016) for flere detaljer om Kronos.

3 Dette er eksklusive interne overførsler mellem deltagernes egne afviklingskonti samt overførsler til T2S.

4 Se CPSS-IOSCO (2012) under Princip 7 om likviditetsrisiko.

af testens simulationer, som efterfølgende diskuteres. Endelig stilles der forslag til fremtidig analyse.

Metode og stressscenarier

Data og metode

I analysen benyttes data fra Kronos, som indeholder alle de faktiske transaktioner, der blev afviklet i systemets åbningstid mellem 07:00 og 15:30 på hver bankdag fra d. 2. januar 2007 til d. 3. august 2018.⁵ I tillæg benyttes information om deltagerens balancer og deres tilgængelige intradag-kredit ved traditionel pantsætning af værdipapirer.

Data indlæses i en simulator (BoF-PSS2⁶), hvori betalingsafviklingen gennemføres som i Kronos: Simulatoren indstilles til at opføre sig, så den mest muligt efterligner det virkelige systems opsætning og funktionaliteter.

Stressscenarierne indføres ved at ændre på input-data og herefter gennemføre betalingerne under i øvrigt uændrede forhold. Derved opnås en fair test af scenariernes effekt på systemets robusthed. Effekten evalueres på basis af fem indikatorer, som beregnes på det outputdata, simulatoren genererer.

Hvis inputdata er uberørt, bør simulatoren efter bedste evne afvikle alle betalingerne, som de i realiteten fandt sted. En sådan *benchmark*-simulation køres for hele tidsperioden og er udgangspunktet for vurderingen af stressscenariernes effekt på systemet. På den måde gør simulatorens simplifikationer af virkeligheden sig gældende for både stress-scenarierne og deres sammenligningsgrundlag.

Likvidetskilder og dækningskontrol

Overordnet har en deltager tre likvidetskilder til brug for at afvikle sine betalinger:

- Saldo på foliokonto ved dagens begyndelse
- Modtagne betalinger i løbet af dagen
- Adgang til intradag-kredit fra Nationalbanken i løbet af dagen.

Når en deltager *afsender* en betaling, foretager Kronos en dækningskontrol: Beløbet skal være mindre end eller lig med summen af deltagerens saldo på folio og deltagerens tilgængelige intradag-kredit, for at betalingen *afvikles*. Afvikling kræver med andre ord, at deltagerens *disponible likviditet* er tilstrækkelig til at dække deltagerens *likviditetsbehov*.

Hvis dækningskontrollen fejler, lægges betalingen i kø og afvikles først, når deltageren igen har likviditet nok til at dække behovet. Ved flere betalinger i kø afvikles betalingerne efter FIFO-princippet, så den tidligst afsendte betaling i køen forsøges afviklet før den næsttidligste betaling i køen og så videre.⁷ Betalinger, som stadig ligger i kø ved Kronos' lukketid kl. 15:30, forbliver *uafviklede*.

Tabel 1 viser et eksempel på en simpel betalingsstrøm af ti betalinger mellem tre deltagere, Bank A, B og C. Under *Benchmark* og hver af de tre scenarier er tre kolonner, som viser betalingens beløb, saldo på afsenders foliokonto *før* betalingen og afsenders adgang til intradag-kredit. En negativ saldo vil sige, at deltageren trækker på sin kredit. I benchmark er dækningskontrollen opfyldt for alle ti betalinger, og de afvikles rettidigt. Ingen betalinger er i kø eller forbliver uafviklede.

⁵ Perioden er valgt, så den løber fra før finanskrisen i 2008 op til indførelsen af Kronos2 og før det dertilhørende databrud.

⁶ *Bank of Finland's Payment System Simulator 2* er en betalingssimulator udviklet af den finske centralbank. Læs mere om den på ([link](#)).

⁷ En deltager kan også aktivere en bypass-funktionalitet, hvorved den første betaling i køen forbigås, hvis den ikke kan afvikles. Den næste betaling i rækken afventer ikke, men forsøges afviklet med det samme og så videre. Bypass-funktionaliteten er inkluderet i simulationerne. Herudover kan Nationalbanken aktivere en algoritme, som løser gridlocks i systemet (se Bech og Soramäki, 2001). Algoritmen er ekskluderet fra simulationerne, idet modellering af Nationalbankens (og deltagerens) adfærd er uden for rammerne af denne analyse.

Scenarie *Fjern Deltager (FD)*: Én stor deltager kan ikke afsende betalinger en hel dag

I forbindelse med en større operationel hændelse, såsom et omfattende cyberangreb eller it-nedbrud, kan en deltager være ude af stand til at afsende betalinger i Kronos.⁸ Det første scenarie (FD) efterligner denne situation ved, at alle betalinger fra en enkelt stor deltager over en hel bankdag fjernes fra afviklingen.

Tabel 1 illustrerer effekten på den simple betalingsstrøm af, at Bank A ikke kan afsende sine betalinger: Bank C modtager ikke den forventede likviditet fra Bank A kl. 09:01 og har derfor ikke tilstrækkelig likviditet til at afvikle sin betaling kl. 11:04. Det samme gælder Bank B's betaling kl. 15:07. Begge betalinger går i kø og forbliver uafviklede ved dagens afslutning.

Bank A modtager stadig betalinger fra de øvrige deltagere og kaldes en *liquidity sink*, idet den modtagne likviditet ikke bliver genanvendt i systemet samme dag.

Et scenaries *direkte effekt* defineres som

$$\frac{\text{Værdien af ikke-afsendte betalinger i scenariet}}{\text{Værdien af afsendte betalinger i benchmark}}$$

I eksemplet i tabel 1 er den direkte effekt af at fjerne Bank A

$$130/295 = 44,1 \text{ pct.}$$

Et scenaries *indirekte effekt* defineres som

$$\frac{\text{Værdien af uafviklede betalinger i scenariet}}{\text{Værdien af afsendte betalinger i scenariet}}$$

Den indirekte effekt af at fjerne Bank A er

$$80/165 = 27,1 \text{ pct.}$$

Den direkte og indirekte effekt kan anses som mål for henholdsvis førsteordens- og flerordenseffekten af et scenarie. I eksemplet i tabel 1 opstår kun en første- og andenordenseffekt af FD-scenariet, idet begge uafviklede betalinger følger direkte af mang-

lende likviditet fra Bank A. I realiteten kan fjernelse af én stor deltager føre til uafviklede betalinger hos en anden deltager, som i tillæg påvirker likviditeten hos en tredje deltager længere ude i betalingskæden og så videre. Alle disse uafviklede betalinger indgår i tælleren af den indirekte effekt, som beregnes for hver af simulationerne nedenfor.

Et scenaries *multiplikatoreffekt* defineres som

$$\frac{\text{Værdien af uafviklede betalinger i scenariet}}{\text{Værdien af ikke-afsendte betalinger i scenariet}}$$

Multiplikatoreffekten af at fjerne Bank A er

$$80/130 = 61,5 \text{ pct.}$$

For hver krone, der fjernes fra systemet, bliver betalinger for yderligere 62 øre ikke afviklet. Multiplikatoreffekten indikerer, om den fjernede deltager spiller en særlig betydningsfuld rolle i betalingsformidlingen relativt til sin størrelse. Det gør sig typisk gældende for store og mellemstore banker, som agerer bindeled for mindre deltagere til resten af systemet.

Scenarie *Pengemarkedet (PM)*: Pengemarkedet er utilgængeligt en hel dag

Under finanskrisen i efteråret 2008 frøs det usikrede pengemarked til: Omsætningen faldt, og spændet mellem de sikrede og usikrede pengemarkedsrenter blev kraftigt udvidet. Det stod særligt slemt til i dollar, men det danske pengemarked i kroner blev også påvirket. Konsekvensen for kronemarkedet var, at deltagere med et likviditetsoverskud i højere grad valgte at placere det i Nationalbanken frem for at videreudlåne det. Derfor måtte deltagere med et finansieringsbehov låne i Nationalbanken frem for i pengemarkedet.⁹

Det andet scenarie (PM) efterligner denne situation ved at fjerne alle transaktioner vedrørende pengemarkedslån fra afviklingen en hel dag. Lånene identificeres ved brug af Furfine-algoritmen, som på basis af en estimeret pengemarkedsrente r matcher betalinger på dag t af værdi x med betalinger på dag $t + 1$ af værdi $-(1 + r)x$ mellem to deltagere. En sådan pengestrøm repræsenterer højst sandsynligt

⁸ Hvis en deltager hverken har adgang til SWIFT eller Kronos-terminalen. Bemærk, at *deltageren* kan udsættes for en operationel hændelse, mens operationel risiko i *Kronos* udelades af analysen.

⁹ Se Jørgensen mfl. (2011).

Stressscenariernes effekt på en simpel betalingsstrøm mellem tre deltagere

Tabel 1

			Benchmark				Fjern Deltager (FD)				Pengemarkedet (PM)			Intradag-kredit (IK)				
Tid	Fra	Til	Beløb	Saldo	Kredit		Beløb	Saldo	Kredit		Beløb	Saldo	Kredit		Beløb	Saldo	Kredit	
07:30	Bank A	Bank B	10	0	60	✓	10	0	60	÷	10	0	60	÷	10	0	45	✓
08:17	Bank B	Bank A	20	40	0	✓	20	30	0	✓	20	30	0	✓	20	40	0	✓
09:01	Bank A	Bank C	40	10	60	✓	40	20	60	÷	40	20	60	✓	40	10	45	✓
09:37	Bank C	Bank B	20	40	32	✓	20	0	32	✓	20	40	32	✓	20	40	24	✓
10:02	Bank B	Bank C	25	40	0	✓	25	30	0	✓	25	30	0	÷	25	40	0	✓
11:04	Bank C	Bank A	50	45	32	✓	50	5	32	✗	50	20	32	✓	50	45	24	✓
12:15	Bank C	Bank A	20	-5	32	✓	20	5	32	✓	20	-30	32	✗	20	-5	24	✗
13:53	Bank A	Bank B	50	40	60	✓	50	40	60	÷	50	30	60	✓	50	20	45	✓
14:11	Bank A	Bank C	30	-10	60	✓	30	40	60	÷	30	-20	60	✓	30	-30	45	✗
15:07	Bank B	Bank C	30	65	0	✓	30	5	0	✗	30	80	0	✓	30	65	0	✓

Anm.: ✓: Afviklet, ÷: Ikke-afsendt, ✗: Uafviklet. I FD-scenariet fjernes alle betalinger sendt fra Bank A. I PM-scenariet identificeres to betalinger som pengemarkeds-transaktioner og fjernes. I IK-scenariet reduceres deltageres tilgængelige intradag-kredit med 25 pct.
Kilde: Egen tilvirkning.

udbetalingen og tilbagebetalingen inkl. rente af et dag-til-dag-pengemarkedslån. Der fokuseres udelukkende på dag-til-dag-segmentet, som har udgjort langt størstedelen af det danske pengemarked siden 2008.¹⁰

I eksemplet i tabel 1 identificeres betalingerne kl. 07:30 og 10:02 som pengemarkeds-transaktioner og fjernes. Det fører til, at Bank C ikke har likviditet nok til at afvikle sin betaling kl. 12:15. Den direkte effekt af PM-scenariet er

$$35/295 = 11,9 \text{ pct.},$$

mens den indirekte effekt er

$$20/260 = 7,7 \text{ pct.},$$

og multiplikatoreffekten er

$$20/35 = 57,1 \text{ pct.}$$

I eksemplet er effekterne af at fjerne pengemarkedstransaktionerne mindre negative for systemet end af at fjerne Bank A's betalinger, i absolutte tal og relativt til den fjernede værdi.

Scenarie *Intradag-kredit (IK)*:

Deltageres adgang til intradag-kredit reduceres
Kronos' deltagere opnår adgang til intradag-kredit i Nationalbanken ved at stille sikkerhed via pantsætning af belånbare værdipapirer, herunder danske stats- og realkreditobligationer.¹¹ Hvis værdien af disse værdipapirer falder, vil det reducere deltageres kreditlines og dermed begrænse deres evne til at afvikle betalinger rettidigt.

¹⁰ Dag-til-dag-lån inkluderer Overnight- (O/N) og Tomorrow Next- (T/N) lån. Se Arciero mfl. (2016) for en beskrivelse af Furfine-algoritmen og Abildgren mfl. (2018) for dens anvendelse på Kronos-data.

¹¹ Se en komplet liste over belånbare værdipapirer på [\(link\)](#).

Under den europæiske gældskrise fra 2009 og frem steg renten på statsobligationer udstedt af en række lande, herunder særligt Grækenland, som følge af at staterne ikke kunne overholde deres gældsforpligtelser.¹²

Et højest usandsynligt stød til den danske økonomi, med voldsomme rentestigninger og kursfald på stats- og realkreditobligationer til følge, kan i værste fald udhule deltagerens grundlag for intradag-kredit i Nationalbanken.

Det tredje scenarie (IK) efterligner denne situation ved at reducere deltagerens tilgængelige kredit med 25 pct. – enten som følge af et kursfald på de belånbare værdipapirer, eller fordi deltageren er tvunget til at sælge ud af pantdepotets indhold. I tabel 1 får alle tre deltagere reduceret deres kredit med 25 pct., hvilket fører til, at henholdsvis Bank C og A ikke har likviditet nok til at afvikle deres betalinger kl. 12:15 og 14:11. Den indirekte effekt af IK-scenariet er

$$50/295 = 16,9 \text{ pct.}$$

Den direkte effekt er 0 pct., idet ingen betalinger fjernes, og derfor kan multiplikator-effekten ikke beregnes. I eksemplet i tabel 1 har IK-scenariet en større negativ effekt på betalingsafviklingen end PM-scenariet, men er overgået af den drastiske effekt af FD-scenariet.

Antagelser og fejlkilder

Den første kritiske antagelse i alle tre scenarier er, at deltagerens handlinger er uændrede i forhold til benchmark, uanset hvilke stød systemet udsættes for: En deltager vil ikke reagere på, at modtagne betalinger udebliver, fx ved at ændre på rækkefølgen af sine betalinger eller ligefrem annullere dem. Tværtimod vil enhver betalings værdi og tidspunkt forblive konstant. Deltagerne kan heller ikke hjælpe hinanden i et stressscenarie ved at garantere for en nedbrudsramt deltager og betale på dennes vegne. Scenarierne gennemføres altså ved hjælp af statiske

simulationer med deterministiske betalinger uden at inkludere deltagerens dynamiske adfærd.¹³ I FD-scenariet kan det dog være en rimelig antagelse for et kortere tidsrum, idet deltagerne sandsynligvis forholder sig passive i et stykke tid, indtil problemet identificeres.

En anden antagelse er, at deltagerne ikke kan stille yderligere sikkerhed end ved traditionel pantsættelse af dét indhold i deres depoter, som er registreret i benchmark. I realiteten har deltagerne mulighed for løbende at ændre på depoternes indhold ved at overføre andre værdipapirer i deres besiddelse til depoterne, ligesom de har mulighed for at foretage betalinger under Sikkerhedsretten¹⁴ hos VP. Afhængigt af baggrunden for et givet likviditetsstød til systemet kan deltagerne sandsynligvis øge deres intradag-kreditlines og ruste sig bedre til likviditetsmanglen.

Som et tredje afgørende aspekt af analysen er Nationalbankens indgriben udelukket. Ved et virkeligt stød til Kronos kan Nationalbanken udføre betalinger på vegne af deltagerne ved brug af systemets nødprocedurer. Nationalbanken har også mulighed for midlertidigt at udvide belåningsgrundlaget med andre typer af værdipapirer for at øge deltagerens adgang til intradag-kredit mod passende sikkerhedsstillelse.

Den fjerde antagelse er, at de tilknyttede systemer er statiske: Beløbene, der afvikles på Detail-, VP- og CLS-konti, ændrer sig ikke. Altså bliver stødene, som påføres Kronos, ikke udvidet til også at ramme de tilknyttede systemer. Det er i sagens natur en abstraktion fra virkeligheden, idet fx drastiske kursfald på de finansielle markeder meget vel kan ændre på deltagerens afsendte nettobeløb i VP-afviklingen på grund af øget handel og betaling af marginkald. Inkludering af de tilknyttede systemer i en samlet stresstest ligger uden for denne analyses omfang og datagrundlag.

En femte begrænsning er, at scenarierne kun forløber over én bankdag. Deltagerens saldi og beta-

12 Se fx Lane (2012).

13 Dette er en standardantagelse i simulations-studier på historisk data. Modelling af deltagerens adfærd giver anledning til flere antagelser og øget kompleksitet, uden at det nødvendigvis bidrager signifikant til resultaterne af analysen, jf. Lublóy og Tanai (2008) og ECB (2017). Dog kan simpel agent-based-modelling (ABM) give mere indsigt i systemets robusthed. ABM inkluderes muligvis i fremtidige stresstests af Kronos2.

14 Sikkerhedsretten er udeladt af analysen på grund af datamangel.

linger i kø bliver ikke overført til bankdagen efter. I FD-scenariet måler stresstesten altså effekten af et nedbrud hos en deltager, som varer én dag, hvorefter problemet løses og betalingerne afvikles efter lukketid, inden næste bankdag begynder. Hvis stresstesten skulle udvides til at undersøge effekterne af scenarier over flere bankdage, bør det indebære at modellere deltageres og Nationalbankens adfærd, idet passivitet over flere dage er højest usandsynligt. En sådan undersøgelse er udeladt af stresstesten i denne omgang.

Alt andet lige giver de første tre kritiske antagelser anledning til en overvurdering af scenariernes negative effekter, mens de sidste to antagelser fører til en undervurdering.

Resultater af simulationerne

Dette afsnit gennemgår udvalgte resultater af simulationerne. Grundscenarierne FD, PM og IK samt kombinationer heraf er simuleret for hver bankdag fra 2. januar 2007 til 3. august 2018. Dermed spænder analysen over en periode med varierende finansielle markedsforhold og pengepolitiske renteniveauer. FD1-FD5 angiver, at henholdsvis hver af de fem største deltagere, rangeret efter værdien af afsendte betalinger, fjernes fra systemet. Alt i alt er der udført 52.092 daglige simulationer fordelt på 2.894 bankdage, 17 scenarier og et benchmark.

I det følgende indsnævres fremstillingen til at inkludere grundscenarierne og de værst tænkelige kombinationsscenarier: Eksempelvis angiver *FD1*, *PM* & *IK*, at både den største deltager (Deltager 1) og alle pengemarkedslån fjernes fra systemet, samtidig med at de øvrige deltagers intradag-kredit reduceres med 25 pct. Kombinationscenarierne er næppe plausible, men er inkluderet i analysen for at undersøge, hvad der kunne skabe betydelige negative effekter.¹⁵

To store deltagere og et pengemarked af faldende betydning

Figur 1(a) viser den direkte effekt af henholdsvis scenarie FD1-FD5 i den venstre delfigur og FD1, PM, IK og kombinationen af FD1 & PM samt FD1, PM & IK i den højre delfigur. Den samme opdelte fremstilling af scenarierne gør sig gældende i resten af analysens figurer nedenfor.

Af figur 1(a) er det tydeligt, at Deltager 1 og 2 står for langt størstedelen af den afviklede værdi i systemet. Førsteordenseffekten af, at disse deltagere ikke kan udføre deres betalinger, er derfor stor. Deltager 1's afsendte betalinger har konsekvent udgjort mellem 23 pct. og 32 pct. af omsætningen igennem perioden, mens Deltager 2's andel er faldet fra over 20 pct. til i omegnen af 13 pct. Den direkte effekt af at fjerne de 3 øvrige store deltagere er i omegnen af eller under 5 pct.

Det fremgår, at de usikrede pengemarkedslån udgjorde tæt på 17 pct. af omsætningen i 2007-11, men siden er faldet betydeligt og nu kun udgør under 5 pct. Kombineres FD1- og PM-scenarierne, er den direkte effekt ikke overraskende endnu større, op imod 42 pct., mens den for IK-scenariet er 0 pct., idet ingen transaktioner fjernes.¹⁶

De afledte effekter af scenarierne er begrænsede

Den indirekte effekt er et udtryk for flerordenseffekterne af at indføre scenarierne. I figur 1(b) fremgår det, at fjernelse af Deltager 1 har den utvivlsomt største negative effekt på systemet i forhold til de andre fire FD-scenarier: I 2007-11 førte FD1 til, at op imod 5 pct. af de øvrige afsendte betalinger forblev uafviklede ved dagens afslutning. Til sammenligning er effekterne af FD2-FD5 konsekvent under 1 pct.

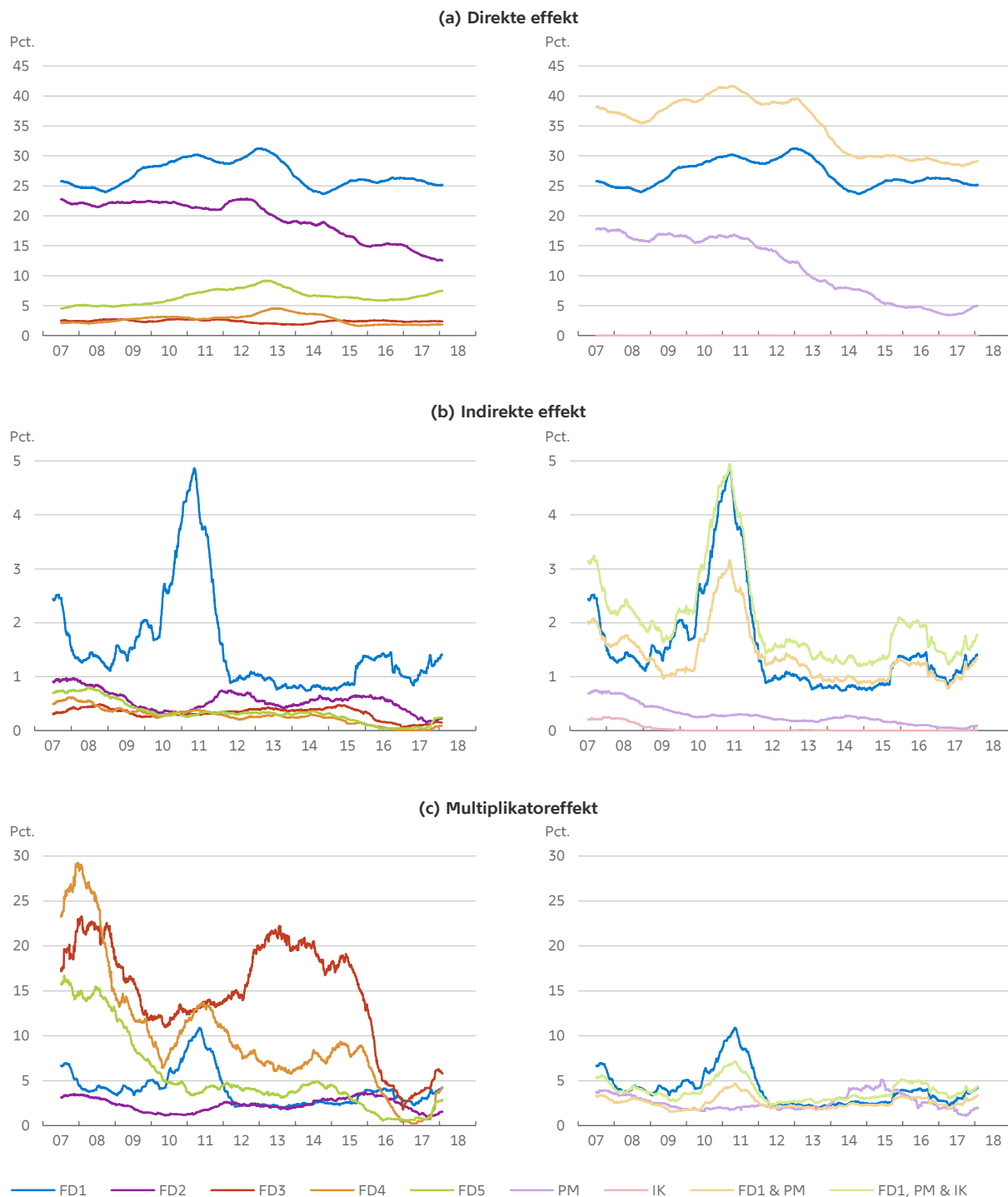
Den indirekte effekt af PM-scenariet falder i takt med pengemarkedets mindskede indflydelse fra knap 1 pct. til tæt på 0 pct. over perioden. IK-scenariets effekt er ubetydelig, altså er deltageres likviditetsstyring kun i lav grad afhængig af deres adgang til

¹⁵ Sigtepunktet har været en indirekte effekt på mere end 5 pct. Dette kan også betegnes som en *reverse stress test*.

¹⁶ Bemærk, at den direkte effekt af henholdsvis *FD1* og *PM* ikke summer til den direkte effekt af *FD1* & *PM*, fordi en delmængde af Deltager 1's betalinger vedrører pengemarkedslån.

Effekter af scenarierne

Figur 1



Anm.: 12-måneders glidende gennemsnit. Scenarietkoderne er *FDX*: Fjern Deltager X, *PM*: Pengemarkedet, *IK*: Intradag-kredit.

(a) Den direkte effekt er værdien af ikke-afsendte betalinger i scenariet i forhold til afsendte betalinger i benchmark.

(b) Den indirekte effekt er værdien af uafviklede betalinger i forhold til afsendte betalinger i scenariet.

(c) Multiplikatoreffekten er værdien af uafviklede betalinger i forhold til ikke-afsendte betalinger i scenariet.

Bemærk, at kurverne for henholdsvis *FD1* & *PM* og *FD1*, *PM* & *IK* overlapper hinanden i (a), da den direkte effekt af *IK* alene er 0 pct.

Multiplikatoreffekten kan af samme årsag ikke beregnes for *IK*, så kurven for *IK* alene fremgår ikke i (c).

Kilde: Danmarks Nationalbank.

intradag-kredit via traditionel sikkerhedsstilling. Dog har IK-scenariet en forstærkende effekt, når det kombineres med både FD1 og PM. Her optræder den højeste indirekte effekt.

Den indirekte effekt overstiger dog ikke 5 pct., altså selv i analysens værste scenarie bliver mere end 95 pct. af de tilbageværende betalinger stadig afviklet. Lidt overraskende har kombinationen af FD1 og PM en lavere indirekte effekt end FD1 alene. Det skyldes, at en del af de uafviklede betalinger i FD1 netop er pengemarkedslån, som fjernes i kombinations-scenariet. Det understreges, at der her er tale om en gennemsnitlig effekt. Variationen fra dag til dag diskuteres nedenfor.

Fælles for FD1-scenarierne er, at den indirekte effekt stiger kraftigt i 2010. Det korrelerer med, at deltagerne frivilligt ophører med at optage pengepolitiske lån i Nationalbanken. Det kan skyldes, at deltagerne har behov for kredit falder, eller at deltagerne har fravalgt at optage lån af frygt for signalværdien i at afhænge af Nationalbankens faciliteter.¹⁷ Sidstnævnte kan have sat deltagerne likviditetsstyring under pres, hvilket giver sig udtryk i en højere indirekte effekt, når systemet udsættes for likviditetsstød i stressscenarierne.

Den indirekte effekt falder derefter drastisk i 2012. Det skyldes hovedsageligt en stigning i deltagerne foliosaldi, som sammenfalder med overgangen til negative renter på indskudsbeviser og i pengemarkedet. Idet foliorenten er blevet fastholdt på 0 pct., har deltagerne haft incitament til at holde likviditet på folio frem for i markedet ved lukketid, og dermed har store mængder likviditet været umiddelbart tilgængelige til betalinger ved åbningstid bankdagen efter. En retur til mere normale pengepolitiske forhold, forstået som et positivt rentespænd mellem pengemarkeds-renterne og foliorenten, tyder på at kunne øge risikoen for uafviklede betalinger i en stresssituation.

Multiplikatoreffekter

Den direkte effekt af at fjerne Deltager 3 og 4 er lav, men til gengæld er multiplikatoreffekten, altså den indirekte effekt relativt til den fjernede værdi, stor jf.

figur 1(c): For hver krone af Deltager 3's betalinger, der fjernes, bliver mellem 10 og 25 øre af de øvrige betalinger ikke afviklet mellem 2007 og 2015.

I FD3-scenariet skyldes det dog primært en enkelt mindre deltager¹⁸, som arbejder med en meget lav disponibel likviditet. I stedet finansierer denne deltager sine afsendte betalinger sent på dagen næsten udelukkende med modtagne betalinger tidligt på dagen. Deltageren udgår af afviklingen i løbet af 2016. Multiplikatoreffekterne af de øvrige FD-scenarier og kombinations-scenarierne er ikke nævneværdigt store.

Betalingsforsinkelse i løbet af dagen

Den indirekte effekt er kun et udtryk for mængden af betalinger, som forsinkes helt til dagens afslutning. Den omfatter ikke de betalinger, som sættes i likviditetskø over dagen, men når at blive afviklet inden lukketid. Da betalingerne i Kronos er tidskritiske, kan forsinkelse over dagen være lige så slemt for den finansielle stabilitet som eventuelle uafviklede betalinger ved dagens afslutning.

Forsinkelses-indikatoren er et tids- og værdivægtet mål for forsinkelse i systemet, som inkluderer alle betalingerne i kø. Detaljer om indikatoren findes i Teknisk bilag. Af figur 2 ses, at udviklingen i forsinkelses-indikatoren i høj grad følger udviklingen i den indirekte effekt. Rangeringen af de respektive scenarier er også den samme, altså er *FD1*, *PM* & *IK* værst efterfulgt af *FD1*, *FD1* & *PM* og så videre.

Dog er niveauet for forsinkelses-indikatoren markant højere i 2007-2012: Her opstår der betydelige likviditetskøer over dagen med potentielt store negative konsekvenser for de påvirkede modparter. Det gælder især i kombinations-scenariet *FD1*, *PM* & *IK*. Forsinkelses-indikatoren illustrerer således en mere entydig effekt af overgangen til de nye pengepolitiske renteniveauer i 2012.

Scenarierne fører til få uafviklede betalinger, dog store ændringer i likviditetsbehovet

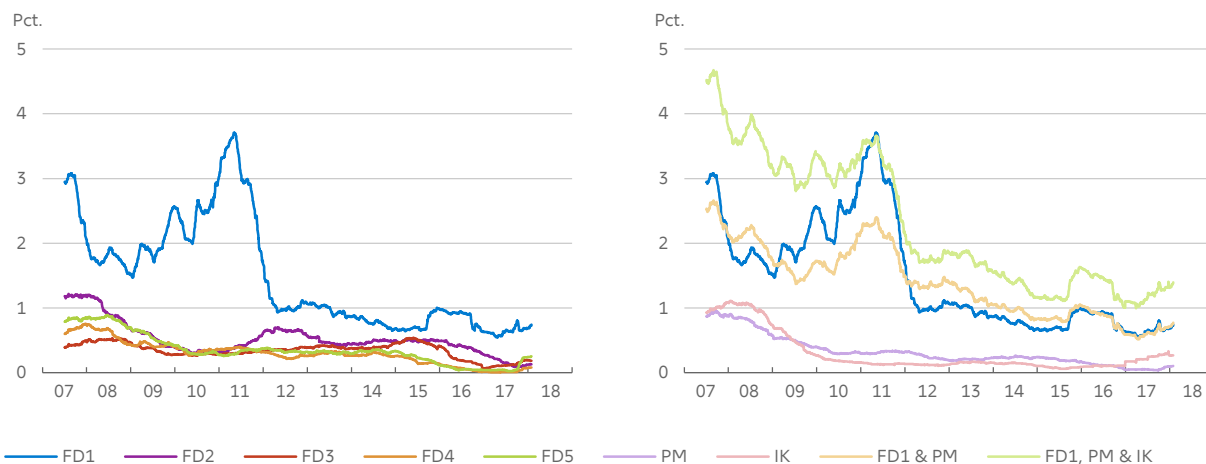
En deltagers faktiske likviditetsbehov ligger imellem en øvre og nedre grænse. Beregninger og detaljer fremgår af Teknisk bilag. Et likviditetsbehov på 0

¹⁷ Stigma forbundet med pengepolitiske faciliteter er velkendt for Federal Reserve's *Discount Window*, se Armantier mfl. (2015).

¹⁸ Altså et lille pengeinstitut forskelligt fra Deltager 3.

Forsinkelses-indikator for scenarierne

Figur 2



Anm.: 12-måneders glidende gennemsnit. Scenarietkoderne er FDX: Fjern Deltager X, PM: Pengemarkedet, IK: Intradag-kredit. Forsinkelses-indikatoren er et tids- og værdivægtet gennemsnit af betalingerne i kø, jf. Teknisk bilag.
Kilde: Danmarks Nationalbank.

pct. vil sige, at deltageren kan finansiere alle sine afsendte betalinger udelukkende med modtagne betalinger.

Omvendt angiver et likviditetsbehov på 100 pct., at deltageren må finansiere alle sine afsendte betalinger ved brug af sin disponible likviditet, altså indestående på folio og tilgængelig kredit. Den øvre grænse tager højde for betalingernes rækkefølge, mens den nedre grænse ikke gør det: Antag eksempelvis, at en betaling kl. 10 forsinkes til kl. 12. En deltager forventer at modtage likviditet kl. 10, og denne likviditet skal benyttes til at afsende en anden betaling kl. 11. Idet den modtagne betaling forsinkes, stiger deltagerens øvre grænse for likviditetsbehovet. Dog bliver den modtagne betaling afviklet inden dagens afslutning, så deltagerens nedre grænse forbliver uændret.

Af figur 3 ses udviklingen i henholdsvis (a) den øvre og (b) den nedre grænse for deltagernes likviditetsbehov. Figuren læses ved at sammenligne hver kurve for scenarierne med kurven for benchmark. FD1-scenariet fører i 2007 til en stigning i henholdsvis den øvre grænse på op til 9 procentpoint og den nedre grænse på op til 22 procentpoint. FD2-scenariet har en mindre, men endog kraftig effekt. Fjernelse af de to største deltagere giver således voldsomme likviditetsstød til systemets øvrige deltagere.

Udviklingen i grænserne for likviditetsbehovet på tværs af FD-scenarierne er konsistent med forsinkelses-indikatoren i figur 2: FD1 har den største betydning, særligt i 2007 og 2011, og FD2's betydning er faldende, mens FD3-FD5 kun akkurat er over benchmark. På tværs af kombinations-scenarierne i den højre delfigur, er det kun FD1 alene, som fører til den kraftigste ændring i den øvre grænse. Det skyldes, at rækkefølgen af pengemarkeds-transaktionerne faktisk øger likviditetsbehovet i forhold til benchmark. Det trækker den øvre grænse ned både i PM-scenariet og i begge kombinationsscenarier. Den nedre grænse viser derimod entydigt, at deltagerne har et højere likviditetsbehov i scenarierne end i benchmark.

Stigninger i likviditetsbehovet på op imod 22 procentpoint fører ikke til flere uafviklede betalinger end nogle få procent i gennemsnit. Det understreger den overflod af likviditet, som er til stede i systemet i analyseperioden.

Variation i den indirekte effekt fra dag til dag

De glidende gennemsnit kan dog skjule store variationer i de negative effekter dagene imellem. Figur 4 viser to kurver for den indirekte effekt af FD1: Den faktiske daglige værdi og det glidende gennemsnit over året. Selv om effekten er tæt på

Scenariernes effekt på likviditetsbehovet

Figur 3



Anm.: 12-måneders glidende gennemsnit. Scenarietkoderne er FDX: Fjern Deltager X, PM: Pengemarkedet, IK: Intradag-kredit.
Deltagernes likviditetsbehov ligger mellem den øvre og nedre grænse i hvert scenarie, jf. Teknisk bilag.
Kilde: Danmarks Nationalbank.

0 pct. de fleste dage, kan op imod 22 pct. af betalingerne ikke afvikles, hvis den største deltager fjernes fra systemet, på enkelte *kritiske dage*.

Halvdelen af de kritiske dage ligger som forventet på faste datoer med høj aktivitet i Kronos, herunder dage med udbetaling af løn, indbetaling af skat, refinansiering af korte realkreditobligationer med videre. Dagene før og efter danske såvel som

udenlandske helligdagsperioder forventes også at være kritiske. Den anden halvdel af de kritiske dage falder dog på datoer, som ikke umiddelbart er til at forudsige på basis af tilbagevendende hændelser.

På de kritiske dage er den indirekte effekt målt på værdi betydelig, mens den målt på antal er begrænset. Eksempelvis på den værste dag i 2017 afvikles

alle på nær 29 betalinger. Disse betalinger har en samlet værdi på 20,7 mia. kr., hvilket fører til en indirekte effekt på 12,2 pct. Værdimæssigt er størstedelen af disse overførsler til tilknyttede systemer, herunder særligt til VP-afviklingen og Intradagclearingen. Disse overførsler er typisk stående ordrer¹⁹, som indeholder en betydelig overdækning i forhold til de nettobeløb, som deltagerne skal sende til afviklingerne. De øvrige store uafviklede betalinger er til netop den deltager, som fjernes fra afviklingen, så de er udtryk for en liquidity sink-effekt. Disse transaktionstypers beløbsstørrelse kan sandsynligvis justeres af deltagerne i en faktisk stresssituation.

Det er også ganske få ikke-afsendte betalinger af høj værdi fra Deltager 1, som er skyld i de 29 uafviklede betalinger. Omfanget af nedbruddet, som fører til forsinkelse i systemet i det værste scenarie på den værste dag i 2017, er altså begrænset til en håndfuld deltagere og deres relativt få store betalinger til egne afviklingskonti eller til hinanden.

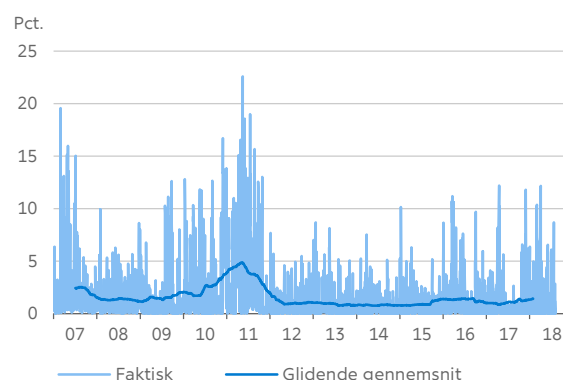
Diskussion og fremtidig analyse

Stresstesten giver et billede af deltagernes likviditetsforhold og systemets robusthed i en deterministisk verden med statisk adfærd. På denne måde identificeres potentielle problemer, som i realiteten kan løses helt eller delvist af deltagernes og Nationalbankens dynamiske adfærd.²⁰ Stresstestanalysen vil kunne identificere sårbarheder, som med fordel kunne adresseres på forhånd.

Resultatet af denne analyse er, at der ikke er behov for ændringer. Systemet udsættes for voldsomme stød til deltagernes likviditet, og selv om det øger deltagernes likviditetsbehov markant, fører det

Udsving i den indirekte effekt af FD1

Figur 4



Anm.: Den indirekte effekt er værdien af uafviklede betalinger i forhold til afsendte betalinger i scenarie Fjern Deltager 1.
Kilde: Danmarks Nationalbank.

gennemsnitligt set kun til ganske beskedne forsinkelser og få uafviklede betalinger. På enkelte kritiske dage kan de negative effekter af scenarierne være adskillige gange højere end gennemsnittet, men da det er forårsaget af få meget store betalinger, kan effekterne formindskes ved at udføre disse betalinger manuelt i Kronos' nødprocedure.

Dette kræver dog, at deltagerne løbende identificerer egne kritiske betalinger, afsendte såvel som modtagne, og tester interne processer ved betaling i Kronos' nødprocedure.

Det igangværende arbejde med stresstesten fortsætter med fokus på at inkludere data fra Kronos2 og på at forfine scenarierne.

¹⁹ Forudindtastede transaktioner, som afsendes på faste tidspunkter.

²⁰ Ligeledes kan deltagernes dynamiske adfærd skabe problemer for systemet, hvis de handler uhensigtsmæssigt, hvilket dog udelades her.

Litteratur

Abildgren, Kim, Nicolaj Albrechtsen, Mark Strøm Kristoffersen, Søren Truels Nielsen og Rasmus Tommerup (2018), The short-term Danish interbank market before, during and after the Financial Crisis, *Journal of Financial Market Infrastructures*, nr. 7, s. 29–45.

Arciero, Luca, Ronald Heijmans, Richard Heuver, Marco Massarenti, Cristina Picillo og Francesco Vacirca (2016), How to measure the unsecured money market? The Eurosystem's implementation and validation using TARGET2 data, *International Journal of Central Banking*, marts, s. 247–280.

Armantier, Olivier, Eric Ghysels, Asani Sarkar og Jeffrey Shrader (2015), Discount window stigma during the 2007–2008 financial crisis. *Journal of Financial Economics*, vol. 118, nr. 2, s. 317–335.

Bech, Morten L. og Kimmo Soramäki (2001), Gridlock resolution in interbank payment systems, *Bank of Finland Discussion Papers*, nr. 9.

Danmarks Nationalbank (2016), Beskrivelse af Kronos efter internationale principper. *Danmarks Nationalbank Rapport*, 1. juli 2016.

European Central Bank (2016), Stress-Testing of liquidity risk in TARGET2, *Occasional Paper Series*, nr. 183.

Committee on Payment and Settlement Systems, Technical Committee of the International Organization of Securities Commissions (2012), Principles for Financial Market Infrastructures. Basel, april.

Jørgensen, Anders, Carina Moselund Jensen, Paul Lassenius Kramp og Lars Risbjerg (2011), Penge- og valutamarkedet under finanskrisen, *Danmarks Nationalbank Kvartalsoversigt*, 2. kvartal del 1, s. 87-96.

Lane, Philip R (2012), The European sovereign debt crisis, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 26, nr. 3, s. 49–68.

Lublóy, Agnes og Eszter Tanai (2008), Operational Disruption and the Hungarian Real Time Gross Settlement System (VIBER). *Magyar Nemzeti Bank Occasional Papers*, nr. 75.

Teknisk bilag

I dette bilag gennemgås beregninger og fortolkninger af den øvre og nedre grænse for likviditetsbehovet samt forsinkelses-indikatoren.

I bilaget anvendes følgende standardnotation:

$x_d^{ij}(t)$ angiver en betaling på x kr. fra deltager i til deltager j på dag d og tidspunkt t , hvor

- $x \in \mathbb{R}^+$ er værdien af betalingen
- $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ er to deltagere blandt N aktive deltagere i systemet
- $d \in \{1, 2, \dots, D\}$ er en bankdag mellem tirsdag d. 1. januar 2007 ($d = 1$) og fredag d. 3. august 2018 ($d = D$), henholdsvis den første og sidste bankdag i analysens periode
- $t \in [0, T]$ er tiden fra Kronos' åbningstid kl. 07:00 ($t = 0$) til dets lukketid kl. 15:30 ($t = T$).

Grænser for likviditetsbehovet

Deltager i 's netto-debet-position på dag d og tidspunkt t er

$$\delta_d^i(t) = \sum_{k=0}^t \sum_{j \neq i} x_d^{ij}(k) - x_d^{ji}(k).$$

Den *øvre grænse* U_d^i for deltager i 's likviditetsbehov på dag d er maksimum af deltagerens netto-debet-position over dagen, altså

$$U_d^i = \max_{t \in [0, T]} \max\{\delta_d^i(t), 0\}.$$

U_d^i angiver det niveau af likviditet, som deltager i skal disponere over ved $t = 0$ på dag d , for at alle deltager i 's afsendte betalinger kan afvikles i deres faktiske rækkefølge i løbet af dagen.

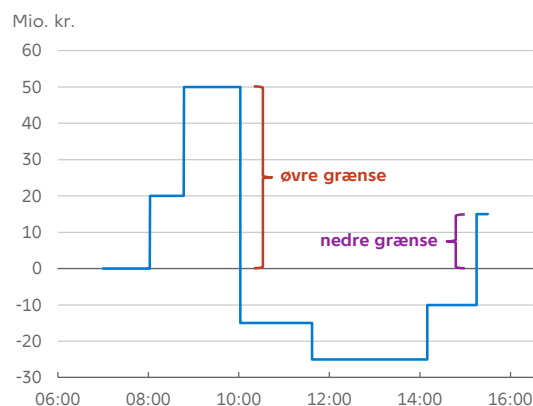
Den *nedre grænse* L_d^i for deltager i 's likviditetsbehov på dag d er deltagerens netto-debet-position ved dagens afslutning, altså

$$L_d^i = \max\{\delta_d^i(T), 0\}.$$

L_d^i er tilsvarende det niveau af likviditet, som deltager i skal afsende, hvis alle deltager i 's betalinger nettes multilateralt imod alle øvrige deltagers ($j \neq i$) betalinger over hele dag d . L_d^i er med andre ord værdien af deltager i 's afsendte betalinger fratrukket værdien af deltager i 's modtagne betalinger over dag d .

Eksempel på betalingsstrøm og grænser for likviditetsbehovet

Figur 5



Anm.: Kurven viser en deltagers netto-debet-position, som stiger (falder) ved afsendelse (modtagelse) af betalinger.
Kilde: Egen tilvirkning.

Figur 5 ovenfor viser et eksempel på en deltagers netto-debet-position over en dag. En *positiv* værdi på et givet tidspunkt vil sige, at deltageren har en tilsvarende *negativ* saldo på sin foliokonto, hvis deltageren havde startet dagen med en saldo på nul. I eksemplet må deltageren have en disponibel likviditet på 50 mio. kr. for at kunne afvikle sine betalinger i deres faktiske rækkefølge (den øvre grænse), men behøver kun en disponibel likviditet på 15 mio. kr., hvis alle betalinger nettes og afvikles ved dagens afslutning (den nedre grænse).

I et stressscenarie kan begge grænser for deltagerens likviditetsbehov stige, idet nogle betalinger fjernes, og andre betalinger derved forsinkes eller helt udebliver. Derfor må en given deltager typisk disponere over en større mængde likviditet for at udføre sine betalinger rettidigt. Den øvre grænse antager implicit, at deltageren ikke ændrer på rækkefølgen af sine afsendte betalinger, selv om visse forventede modtagne betalinger ikke gennemføres. Den nedre grænse er en mere abstrakt størrelse, for når systemet ikke automatisk netter betalinger, må multilateral netting forudsætte, at deltagerne har fuldt kendskab til hinandens betalingsstrømme og perfekt kan koordinere betalinger, som udligner deres respektive forpligtelser. Det faktiske likviditetsbe-

hov i en stresssituation ligger mellem de to grænser, dog givetvis tættere på den øvre grænse.

U_d^i er opgjort på deltagerniveau pr. dag og aggregeres til systemniveau pr. dag ved at summere over deltagerne

$$U_d = \sum_{i=1}^N U_d^i.$$

For at opnå et relativt mål sættes aggregatet i forhold til alle afsendte betalinger i systemet

$$P_d = \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i} \sum_{t \in [0, T]} x_d^{ij}(t),$$

og den øvre grænse relativt til betalingerne i systemet er således

$$u_d = \frac{U_d}{P_d}.$$

Endelig beregnes et 12-måneders glidende gennemsnit centreret omkring en given dag d_0 ved

$$u_{d_0}^{\text{avg}} = \frac{1}{250} \sum_{d \in Y_0} u_d,$$

$$Y_0 = \{d_0 - 125, \dots, d_0, \dots, d_0 + 124\},$$

idet et år i gennemsnit indeholder 250 danske bankdage. Samme procedure gør sig gældende for de øvrige indikatorer, altså er det et gennemsnit af relative aggregater, som vises i figur 1, figur 2 og figur 3.

Forsinkelsesindikatoren

I det følgende angiver $x_d^{ij}(t, \tau)$ en betaling, som afsendes på tidspunkt t , men først bliver afviklet på tidspunkt τ . For $t < \tau < T$ er betalingen forsinket, og for $\tau = T$ er betalingen uafviklet.

Forsinkelses-indikatoren pr. dag er givet ved

$$\xi_d = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i} \sum_{\tau \neq t} (\tau - t) x_s^{ij}(t, \tau)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i} \sum_{\tau \neq t} (T - t) x_s^{ij}(t, \tau)},$$

altså den tids- og værdivægtede andel af betalinger i kø på dag d . Herved forstås, at en 2-timers forsinket betaling på 1 kr. har samme vægt som en 1-times forsinket betaling på 2 kr. Ved $\xi_d = 0$ er alle betalinger blevet afviklet rettidigt, og i ekstremtilfældet $\xi_d = 1$ er alle betalinger blevet forsinket indtil lukketid, altså er de uafviklede.

Indikatoren kaster lys over likviditetskøer, som opstår i løbet af dagen, men når at blive afviklet inden dagens afslutning. Disse likviditetskøer kan dog have en tilsvarende eller endda større negativ effekt på betalingsafviklingen end de eventuelt få uafviklede betalinger, som er tilbage ved lukketid, idet betalingerne i Kronos er tidskritiske.

OM ANALYSE



Som en konsekvens af Nationalbankens rolle i samfundet udarbejdes analyser af økonomiske og finansielle forhold.

Analysen består af en dansk og engelsk version. I tilfælde af tvivl om oversættelsens korrekthed gælder den danske version.

Analyserne udkommer løbende og omfatter bl.a. vurderinger af den aktuelle konjunktursituation og den finansielle stabilitet.

DANMARKS NATIONALBANK
HAVNEGADE 5
1093 KØBENHAVN K
WWW.NATIONALBANKEN.DK

Redaktionen er afsluttet
12. april 2019

Thomas Christian Nilsson
Økonom
FINANSIEL STABILITET



DANMARKS
NATIONALBANK