

Principper for udpegning af grundvandsparker

Baggrund – formål

Formål med grundvandsbeskyttelse. Det overordnede formål er at sikre produktion af drikkevand på basis af rent grundvand. Sikring af rent grundvand til kommende generationer vil kræve, at der fremover ikke benyttes pesticider eller andre miljøfremmede stoffer i de områder, hvor grundvandet til vores drikkevand dannes.

Virkemidler. For at kunne nå det mål er effektive virkemidler nødvendige. BNBO er et første skridt, men langt størstedelen af det grundvand, der indvindes til drikkevand, dannes uden for BNBO. Der er derfor behov for et virkemiddel, der også kan sikre en mere effektiv beskyttelse af de mest betydende grundvandsdannende oplande. Et effektivt redskab vil være at oprette såkaldte "grundvandsparker" med topprioritet til produktion af rent grundvand, og hvor der bl.a. gives mulighed for ekspropriative indgreb for at forbyde anvendelse af pesticider og biocider samt forebygge forurening fra nitrat, punktkilder og bykilder.

Data og viden. Grundvandskortlægningen, forskningsaktiviteter og hidtidige erfaringer hos vandselskaberne har produceret megen nyttig viden og et righoldigt datagrundlag, som gør det muligt med relativ lille ekstra indsats at udpege de områder, der bør indgå i grundvandsparker. Men der foreligger endnu ikke en metodik og en vejledning, som myndigheder og vandselskaber kan benytte i arbejdet hen mod etablering af grundvandsparker.

Formål med denne note. Denne note beskriver principper for, hvordan der kan opnås det nødvendige og tilstrækkelige faglige grundlag for udpegning af grundvandsparker. Håbet er, at principperne efterfølgende kan lede til en egentlig vejledning fra myndigheder.

Metode - principper

Risikobaseret tilgang: Der er betydelige usikkerheder på lokaliseringen af de arealer, hvorfra grundvandsdannelse til konkrete kildepladser sker. Og nogle kildepladser er af større betydning for forsynings sikkerheden end andre. For at reducere fejlinvesteringer skal udpegningen af grundvandsparker derfor ske med en risikobaseret tilgang, hvor der tages højde for de vigtigste usikkerheder, og hvor det acceptable niveau af sikkerhed er en politisk beslutning.

Metodik til bestemmelse af oplande: Oplande bestemmes med partikelbaneberegninger ved hjælp af hydrologiske modeller under anvendelse af god modelleringspraksis.

Usikkerheder på oplande: De væsentligste usikkerheder skal kvantificeres med specifikke vurderinger fra opland til opland. Det vil som regel inkludere usikkerheder på: geologi/modelstruktur, fremtidigt klima, hydrologiske modelparametre og fremtidig indvindingsstruktur.

Håndtering af risici – faseopdelt indsats: En usikkerhedsanalyse vil ofte resultere i betydelige usikkerheder på hvilke arealer, der indgår i et grundvandsdannende opland. Disse usikkerheder kombineres i en risikoanalyse med analyser af f.eks. den strategiske vigtighed af en kildeplads, omkostninger til erstatning for kildeplads, transporttid til boring samt udfordringer med forurenende stoffer såsom pesticidrester og PFAS. For at reducere risikoen ved fejlinvesteringer foreslås en faseopdelt indsats:

- I første fase udpeges arealer, som med størst sikkerhed ligger inden for det grundvandsdannende opland til en strategisk kildeplads. Det kan f.eks. være arealer, hvor der er mere end 95% sandsynlighed for, at området ligger inden for det grundvandsdannende opland, og hvor transporttiden er mindre end 50 år.
- I takt med at de første områder bliver beskyttet, gennemføres i efterfølgende faser beskyttelse i større dele af det grundvandsdannende opland, indtil beskyttelsen omfatter grundvandsdannelse svarende til indvindingen.
- Beregningsgrundlaget og indsatsplanen opdateres med regelmæssige mellemrum, f.eks. hver 5-10 år, hvor nye data og viden inddrages. Det giver mulighed for, at usikkerheden omkring geologi, klima og modelparametre gradvist reduceres og området, som i sidste ende skal beskyttes, derfor bliver mindre, end hvis det var blevet udpeget helt fra starten. På den anden side kan uforudsete udviklinger i vandforbrug, vandværksinfrastruktur og indvindingsstrategier påvirke størrelse og placering af grundvandsparker.

Konkrete vurderinger baseret på lokale prioriteringer: Det accepterede risikoniveauet (graden af forsigtighedsprincip), som har betydning for størrelsen af grundvandsparker, kan variere lokalt.

Bilag med uddybning: Notat "Hvor skal grundvandsparker placeres", Jens Christian Refsgaard, 25.09.2022

Hvor skal grundvandsparker placeres?

Baggrund - forudsætninger

De seneste års fund af pesticider og andre miljøfremmede stoffer i grundvand har dokumenteret, at den præmis, vi har haft de sidste 30 år – nemlig at grundvandsforurening kan forhindres ved at regulere brugen af disse giftstoffer - ikke holder i virkeligheden. En effektiv grundvandsbeskyttelse kræver derfor, at der slet ikke benyttes giftstoffer i områder, hvor grundvandet til vores drikkevand dannes.

Folketinget har vedtaget, at der skal laves grundvandsbeskyttelse i boringsnære områder (BNBO). Langt størsteparten af det grundvand, vi oppumper til drikkevand, kommer imidlertid fra områder uden for BNBO, og der er derfor behov for at beskytte de grundvandsdannende oplande. Udover de grundvandsmagasiner, hvorfra der i dag sker vandindvinding, er der behov for at beskytte nogle magasiner, som vi kan få behov for i fremtiden, når nogle af de eksisterende magasiner viser sig at blive forurenede af stoffer, vi ikke kender i dag. Mens BNBO udgør 0,5-1 % af Danmarks areal, udgør de grundvandsdannende oplande til den samlede eksisterende vandindvinding (eksklusive markvanding) i størrelsesordenen 10 gange så store arealer - med store variationer mellem landsdelene (Henriksen et al., 2022).

Som en vigtig del af grundvandsbeskyttelsen vil det være nødvendigt at oprette såkaldte "grundvandsparker", hvor der fremover gives topprioritet til produktion af rent grundvand. Det indebærer, at det i grundvandsparker vil være nødvendigt at forbyde anvendelse af pesticider og biocider samt at fortsætte regionernes arbejde med at fjerne og inddæmme punktkilder. I bymæssige dele af grundvandsparker bliver der også behov for at tætnes kloakker og forhindre andre forureningskilder. I landområder vil arealerne i grundvandsparkerne eksempelvis kunne benyttes til pesticidfrit landbrug, skovrejsning og naturområder.

Hvordan fastlægges grundvandsdannende oplande?

Grundvandsparker skal etableres i de grundvandsdannende oplande til strategisk vigtige kildepladser. Grundvandsdannende oplande bestemmes ved partikelbaneberegninger med hjælp af hydrologiske modeller. Modellerne bør opstilles med et beregningsgrid på 50-100 m i landområder (Henriksen et al., 2017) og måske endnu finere i byområder (LaBianca et al., 2022).

Der vil altid være betydelige usikkerheder i bestemmelsen af et grundvandsdannende opland. Det indebærer, at der aldrig vil kunne opnås 100% sikkerhed for den nøjagtige afgrænsning af et opland. Derfor er det afgørende vigtigt at tage usikkerhederne i betragtning, når der skal tages beslutninger om, hvilke områder der skal beskyttes og hvilke delområder, der har højst prioritet.

De væsentligste usikkerhedskilder, som skal tages i betragtning, vil som regel være:

- *Geologisk usikkerhed.* Det håndteres ved at opstille et antal (typisk 2-5) alternative tolkninger, som alle benyttes som grundlag for en hydrologiske model. Den geologiske usikkerhed vil ofte være den dominerende usikkerhedskilde.
- *Usikkerhed om det fremtidige klima.* Det håndteres ved at benytte flere forskellige klimafremskrivninger (typisk 3-5), som benyttes som input til de hydrologiske modeller. Forskellige

fremskrivninger om det fremtidige klima baseret på Pasten-Zapata et al. (2019) kan findes på HIP platformen (<https://hip.dataforsyningen.dk/about>).

- *Usikkerhed om den hydrologiske models hydrauliske parametre.* Det håndteres traditionelt ved at benytte en såkaldt Monte Carlo teknik, hvor der generes et antal (fx 100) sæt af parameterverdier, der afspejler parameterusikkerheden. Det er en standardøvelse som kan håndteres af alle professionelle model-softwarepakker.
- *Usikkerhed om fremtidig indvindingsstrategi,* dvs. hvilke kildepladser og hvor store oppumpede vandmængder fra de enkelte borer.

Det er væsentligt at benytte anbefalingerne til god modelleringspraksis (Henriksen et al., 2017) for at undgå fejl og reducere usikkerhederne mest muligt. F.eks. viser et studie med partikelbaneberegninger baseret på et 500 m modelgrid (mod 50-100 m anbefalet i Henriksen et al., 2017), at usikkerhederne forårsaget af det grove modelgrid kan blive endnu større end effekten af den geologiske usikkerhed (Refsgaard et al., 2016).

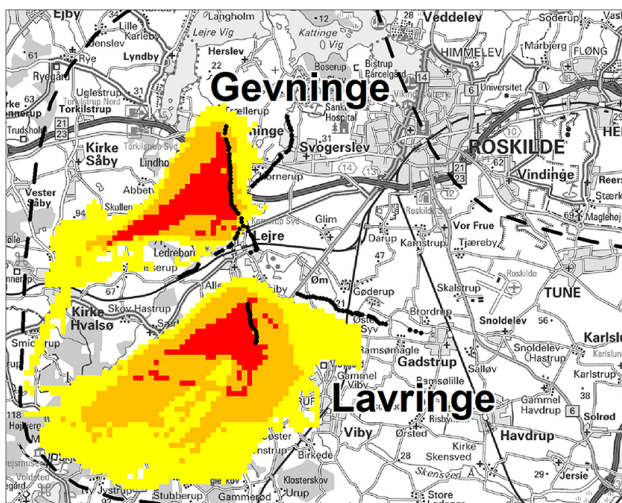
En usikkerhedsanalyse, som tager hensyn til geologi, klima, modelparametre og indvindingsstrategi, kan gennemføres ved at lave eksempelvis $3 \times 3 \times 100 \times 3 = 2700$ modelkørsler. Herefter kan sandsynligheden for, at et modelgrid ligger indenfor det grundvandsdannende opland, beregnes ved statistiske analyser af outputtet fra de mange modelkørsler. Endvidere er det muligt for hvert enkelt modelgrid at bestemme den statistiske fordeling af grundvandsdannelsens størrelse og transporttiden til kildepladsen.

Hvor store er usikkerhederne på de grundvandsdannende oplande?

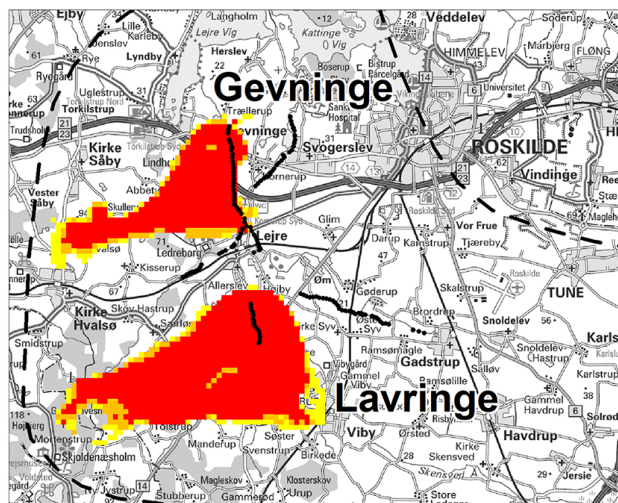
Usikkerhederne på lokaliseringen af et grundvandsdannende opland vil typisk være store. Figur 1 viser et eksempel på effekten af henholdsvis geologisk usikkerhed (figuren til venstre) og klimausikkerhed (figuren til højre). Der er anvendt seks geologiske modeller, som gav lige gode kalibreringsresultater mod grundvandstrykniveau og vandføringer, og 11 forskellige klimamodeller. I figuren til venstre er områderne med rødt de arealer, som alle seks geologiske modeller er enige om ligger inden for de grundvandsdannende oplande, mens de lyserøde områder er de arealer, som udpeges af mindst fire geologiske modeller, og de gule områder kun tilhører oplandet i 1-3 af de geologiske modeller.

Den metode, der er beskrevet i forrige afsnit, kræver at de to usikkerheder i Figur 1 kombineres, og at usikkerheder om modelparametre og fremtidig indvindingsstrategi inkluderes. Resultatet af en samlet usikkerhedsanalyse kan i princippet illustreres som i Figur 2.

a) Six geological models - one climate model

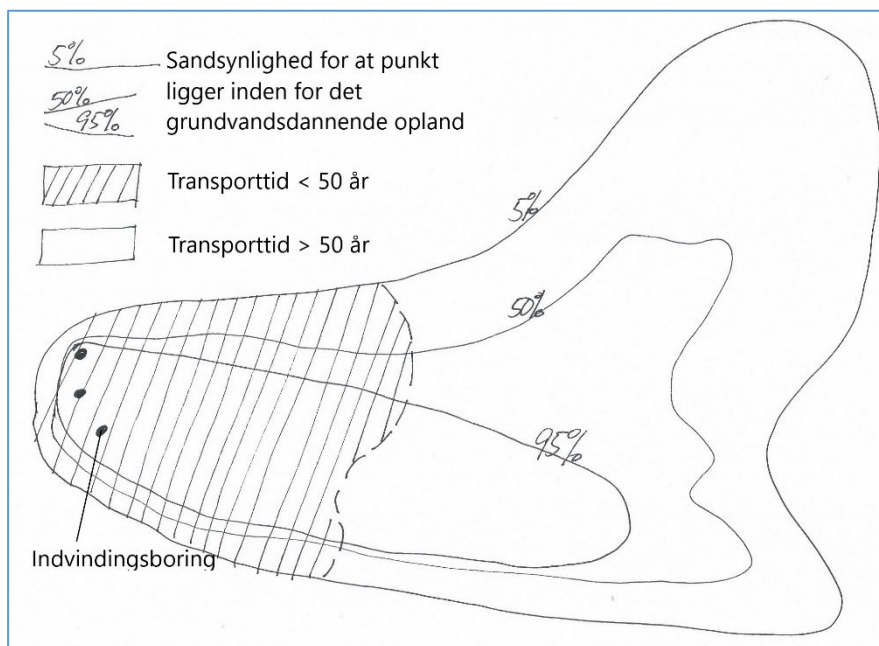


b) Eleven climate models - one geological model



Legend	
	Model boundary
	Stream
	Abstraction well
Capture zone	
Percentage share of models	
	0% - 50%
	51% - 99%
	100%

Figur 1. Usikkerhed i grundvandsdannende opland som følge af geologi (a) og klimafremskrivninger (b).
Figur fra Sonnenborg et al., (2015).



Figur 2. Principskitse for resultat af usikkerhedsanalysen for et grundvandsdannende opland. 5% linjen viser punkter, der har 5% sandsynlighed for at være inden for oplandet, dvs. at 5% af oplandet ligger uden for 5% linjen. Tilsvarende vil der være >95 % sandsynlighed for at området inden for 95% linjen ligger inden for det sande opland. Endvidere er vist områder, hvor transporttiden til indvindingsboringerne er henholdsvis mindre end og større end 50 år.

Hvis vi vil have 95% sikkerhed for at beskytte det sande opland (som vi ikke kender) skal vi beskytte hele området inden for 5% linjen i Figur 2 (~ det gule område i Figur 1). Herved kommer vi uundgåeligt til at beskytte områder, som ligger uden for det sande opland. Hvis vi derimod vil have mindst 95% sikkerhed for, at indsatser for grundvandsbeskyttelse kun foretages i det sande opland, og dermed højst 5% sandsynlighed for at indsatsen rammer et forkert sted, skal vi beskytte det område, der ligger inden for 95%

linjen i Figur 2 (~ det røde område i Figur 1). Herved kommer vi ikke til at beskytte hele det sande opland, og der vil derfor fortsat være risiko for grundvandsforurening.

Håndtering af usikkerheder – risikobaseret tilgang

Spørgsmålet er så, hvordan usikkerheder på oplande skal håndteres i indsatsplaner. Det bør ske ved en risikobaseret tilgang, hvor usikkerheden, og dermed sandsynligheden for at træffe en forkert beslutning, kombineres med konsekvensen af den forkerte beslutning (risiko = sandsynlighed x konsekvens). Ved enhver beslutning om placering af et opland er der en sandsynlighed for, at en del af det sande opland ikke er inkluderet, hvilket kan resultere i grundvandsforurening med den konsekvens at en boring eller kildeplads må lukkes. Tilsvarende er der en sandsynlighed for, at noget af det beskyttede opland i virkeligheden ligger uden for det sande opland, hvilket indebærer at investeringen i beskyttelsesindsats her er dårlig anvendelse af penge. Hvordan risikoen for grundvandsforurening afvejes mod risikoen for fejlinvesteringer, er et spørgsmål, om hvor risikovillig et vandselskab/lokalsamfund er, eller med andre ord hvor meget man er villig til at betale for at opnå et vist sikkerhedsniveau, og er dermed også en politisk afvejning.

En mulig risiko baseret fremgangsmåde til at tage højde for usikkerheder i indsatsplaner kunne være:

1. *Lav en risikoanalyse*, hvor konsekvenserne af de forskellige beslutninger, herunder fejlbeslutninger, inddrages, og der foretages afvejninger af risiko for grundvandsforurening mod omkostninger til grundvandsbeskyttelse. En sådan afvejning bør inkludere faktorer, der ikke kan måles i penge, som f.eks. forsyningssikkerhed og værdi af rent grundvand til kommende generationer. Vigtige elementer i en risikoanalyse er at identificere de kildepladser, der er strategisk vigtige for forsyningssikkerheden samt at beslutte tidshorisont og acceptabelt risikoniveau. Konklusionen på en sådan afvejning vil derfor i sidste ende være politisk og afhænge af lokale forhold.
2. *Lav en faseopdelt indsatsplan*. Hvis risikoanalysen f.eks. konkluderede, at der skal være 95% sikkerhed for, at det grundvandsdannende opland beskyttes, og at der i første omgang skal fokuseres på grundvand med relativt små transporttider i forhold til levetiden for vandværksinfrastruktur, kan faseopdelingen f.eks. se således ud:
 - I den første fase gennemføres kun tvangsmæssige indgreb (herunder ekspropriation) i områder som med meget stor sandsynlighed ligger inden for det sande opland. Det kan f.eks. være inden for 95% linjen i Figur 2 (< 5% sandsynlighed for fejlinvestering) og kun for områder med transporttider mindre end 50 år, mens der i de resterende områder gennemføres indsatser baseret på frivillige ordninger. Hvis området inden for 95% linjen er meget lille benyttes en mindre sikkerhed.
 - I takt med at det lille område (indenfor 95% linjen) er omfattet af beskyttende tiltag, gennemføres der i de efterfølgende faser gradvist en beskyttelse i områder uden for 95% linjen – indtil hele området inden for 5% linjen er beskyttet.
 - Beregningsgrundlaget, risikoanalysen og indsatsplanen opdateres med regelmæssige mellemrum, f.eks. hvert 5-10 år, hvor nye data og ny viden inddrages, herunder en mulig effekt af en skærpet generel regulering af giftstoffer. Det giver mulighed for, at usikkerheden på oplandet hidrørende fra geologi, klima og modelparametre gradvist kan reduceres, svarende til at området mellem 5% og 95% bliver mindre og således at det samlede opland som skal beskyttes (indenfor 5% linjen) bliver mindre. På den anden side kan uforudsete udviklinger i vandforbrug, vandværksinfrastruktur og indvindingsstrategier påvirke størrelse og placering af de grundvandsdannende oplande.

Andre bemærkninger

- *Figur 2* er en forsimpning. I virkeligheden vil grænselinjen for transporttider større/mindre end 50 år også have konfidensintervaller, ligesom selve oplandet har. Det vil endvidere være muligt ud fra modelberegningerne at bestemme den statistiske fordeling af grundvandsdannelsens størrelse og fortyndingsgraden for grundvand, der dannes i de forskellige områder. Sådanne informationer kan være nyttige, hvis der ønskes mere avancerede værktøjer til at prioritere, hvor indsatsen skal gennemføres.
- *Lokale hensyn*. Risikoanalysen bør tage højde for prioriteringer hos lokale vandselskaber og myndigheder. Det kan ske på kommunalt niveau, men i tilfælde, hvor et vandselskab har kildeplader på tværs af kommuner, bør prioriteringen ske på et passende regionalt niveau.
- *Frivillige aftaler*. Ovenstående metodik til usikkerhedsanalyse og risikobaseret tilgang sigter på at give et fagligt grundlag for ekspropriative indgreb, som kan tåle at blive udfordret i en retssag. I de tilfælde, hvor der kan laves frivillige aftaler om beskyttelse af grundvandsdannende oplande til strategisk vigtige kildeplads, kan det overvejes, om der måske ikke er behov for så grundige analyser.

Referencer

- LaBianca AKR, Kidmose JB, Sonnenborg TO, Jensen KH (2022) Impact of urban hydrology on shallow groundwater. Poster til IWA, København 11-15 september 2022.
- Henriksen HJ, Troldborg L, Sonnenborg TO, Højberg AL, Stisen S, Kidmose JB, Refsgaard JC (2017) Hydrologisk govejledning. God praksis i hydrologiske modellering. Geo Vejledning 2017/1, 130 sider.
- Henriksen HJ (2022) Personlig kommunikation vedrørende 'faktaboks om BNBO' relateret til GEUS-NOTAT nr 06-VA-19-01 [Henriksen HJ, Rosenbom, AE, Andersen LT, Albers CN, Sonnenborg TO (2019) GEUS's vurdering af BNBO-beregningskonceptet].
- Pasten-Zapata E, Sonnenborg TO, Refsgaard JC (2019) Climate change: Sources of uncertainty in precipitation and temperature projections for Denmark. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 43, e2019430102. <https://doi.org/10.34194/GEUSB-201943-01-02>
- Refsgaard JC, Sonnenborg TO, Butts MB, Christensen JH, Christensen S, Drews M, Jensen KH, Jørgensen F, Jørgensen LF, Larsen MAD, Rasmussen SH, Seaby LP, Seifert D, Vilhelmsen TN (2016) Climate change impacts on groundwater hydrology – where are the main uncertainties and can they be reduced? Hydrological Sciences Journal, 61(13), 2312-2324. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1131899>
- Sonnenborg TO, Seifert D, Refsgaard JC (2015) Climate model uncertainty vs. conceptual geological uncertainty in hydrological modelling. Hydrology and Earth System Sciences, 19, 3891-3901. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-19-3891-2015>

Roskilde, den 25. september 2022

Jens Christian Refsgaard

Professor Emeritus i grundvandsressourcer

Opdrag fra DANVA til Jens Christian Refsgaard

Aftalt mellem Carl-Emil Larsen og Jens Christian Refsgaard / 24.08.2022

Baggrund

Sikring af rent grundvand til kommende generationer vil kræve, at der fremover ikke benyttes pesticider eller andre giftstoffer i de områder, hvor grundvandet til vores drikkevand dannes. Grundvandsbeskyttelse i de boringsnære beskyttelsesområder (BNBO) er et første skridt, men der er behov for at beskytte hele de grundvandsdannende oplande ved at oprette såkaldte "grundvandsparker" med topprioritet til produktion af rent grundvand.

Grundvandskortlægningen har produceret megen nyttig viden og et righoldigt datagrundlag, som gør det muligt med relativ lille ekstra indsats at udpege de områder, der bør indgå i grundvandsparker. Men der foreligger endnu ikke en metodik og en vejledning, som myndigheder og vandselskaber kan følge i arbejdet hermed.

Opdrag

DANVA anmoder Jens Christian Refsgaard (JCR) om at beskrive det nødvendige og tilstrækkelige faglige grundlag for at udpege fremtidige grundvandsparker med hensyntagen til de væsentligste usikkerheder og en prioriteret faseopdelt indsats. Opgaven ønskes gennemført som følger:

- Beskrivelsen skal være kortfattet (én A4-side) med fokus på principper, som efterfølgende af andre parter vil kunne udmøntes i en egentlig vejledning.
- Det anbefales, at JCR konsulterer forskere og fagpersoner i vandbranchen i forbindelse med udarbejdelse af beskrivelsen. Men JCR har eneansvaret for det endelige produkt.
- Opgaven ønskes gennemført inden udgangen af september 2022.
- Resultatet vil være offentligt tilgængeligt og kan benyttes af DANVA efter ønske.
- Opgaven er ulønnet.