

# Onderzoek naar een nieuwe generatie kassen

De glastuinbouw gebruikt 4% van de fossiele brandstoffen in Nederland. Kan combinatieteelt of het combineren van kassen met andere gebouwen en het gebruik van elkaars reststromen dit brandstofgebruik beïnvloeden? Kan het areaal van 10.000 hectare glastuinbouw een productielandschap van duurzame energie worden? En kan dat zonder het licht voor het gewas te belemmeren? De gewassen zetten CO<sub>2</sub> om in zuurstof en plantaardig materiaal, maar er verdwijnt nog veel CO<sub>2</sub> via de open ramen in de zomer. Zijn gesloten kassystemen realiseerbaar? Dit artikel gaat in op deze vragen, in een zoektocht naar een nieuwe generatie kassen.

Dr.ir. J.C. (Hans) Hubers, universitair hoofddocent Bouwkunde TU Delft; ir. S. (Siebe) Broersma, onderzoeker Bouwkunde TU Delft; dr.ing. Th.H. (Theo) Gieling, senior wetenschappelijk onderzoeker Wageningen UR Glastuinbouw; prof.ir. A.A.J.F. (Andy) van den Dobbelsteen, hoogleraar Bouwkunde TU Delft; dr.ir. F.D. (Frank) van der Hoeven, onderzoeksdirecteur Bouwkunde TU Delft

## ■ STAND VAN ZAKEN

De totale agrarische sector neemt 10% van ons nationaal product en onze werkgelegenheid voor haar rekening. De glastuinbouw heeft hierin weer een aandeel van ongeveer 20% [1]. De Nederlandse glastuinbouwsector gebruikte in 2008 volgens het CBS 113,7 PJ aan fossiele energie.

In de glastuinbouwsector vindt een gestage schaalvergroting plaats. Dit onderzoek richt zich daarom op productiekassen van ongeveer 3 hectare. Het energiegebruik van zulke bedrijven beperkt zich praktisch volledig tot aardgas, dat gebruikt wordt in warmte/krachtinstallaties. Dit is 82% van de totale agrarische sector en ruim 4% van het totale gebruik in Nederland [2].

Niet alleen het verwarmen van de kassen in de winter veroorzaakt dit energiegebruik, maar ook het stoken in de zomer om CO<sub>2</sub> voor de plantengroei te verkrijgen. Echter, om oververhitting te voorkomen, worden de ramen opgezet en verdwijnt de CO<sub>2</sub> weer

naar buiten. Een verhoging van de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie in de aanwezige lucht van 350 ppm naar 1.000 ppm (dezelfde concentratie die vaak in klaslokalen aangetroffen wordt!) geeft een productiestijging van 35% [3]. Het is dus zaak om gesloten systemen te ontwikkelen en CO<sub>2</sub>-reststromen van de industrie te gebruiken. Dit gebeurt ook al. Bijvoorbeeld in Zuid-Holland door OCAP, een samenwerkingsverband dat CO<sub>2</sub> inkoopt bij Shell Pernis en dit via een pijpleiding naar de tuinders vervoert [4].

Figuur 1 op de rechterpagina toont enkele recente ontwikkelingen om het fossiele energiegebruik in kassen te reduceren en duurzame energie op te wekken.

De ELKas en FresnelKas zijn ontwikkelingen van Wageningen UR, die momenteel worden geoptimaliseerd. De ELKas wekt elektriciteit op door, met een spectraal selectieve coating op gebogen acrylplaten, de NearInfraredRadiation (NIR) die niet nodig is voor de plantengroei geconcentreerd terug te kaatsen op een ver-

plaatsbare lijn van photovoltaïsche cellen (pv). Dit reduceert ook de warmtelast met 40%. Er wordt zo 16 KWh/m<sup>2</sup> per jaar elektrisch geleverd en 54 KWh/m<sup>2</sup> per jaar thermisch. Het vervolgonderzoek verwacht dat de opbrengst kan stijgen tot 25 KWh/m<sup>2</sup> per jaar [5]. De FresnelKas heeft een dek van een speciale kunststof lens die het zonlicht concentreert in een brandlijn. De pv-cellen zitten ook hier op een verplaatsbare buis, maar nu binnen. De opbrengst is 30 tot 35 KWh/m<sup>2</sup> per jaar elektriciteit en 200 tot 240 KWh/m<sup>2</sup> per jaar warmte, maar dan wel binnen; de warmtelast wordt dus niet gereduceerd.

De FlowdeckKas, SunergieKas en ZonWindKasconcepten zijn geselecteerd aan de hand van de prijsvraag 'Kas als Energiebron'. Ze zijn vervolgens op het Innovatie Demo Centrum in Bleiswijk gebouwd en getest [6]. De FlowdeckKas heeft een dek van PMMA-kanaalplaten waar water doorgevoerd zou worden. Dat koelt en laat meer licht door (leeg 65%, vol 74%). Zonder water is er een betere



-Figuur 1- ELKas, FresnelKas, FlowdeckKas, SunergieKas en ZonWindKas

gewas	gemiddelde jaarproductie	gemiddelde jaarmozet
Tomaat	420.000 ton	336 M€
Chrysant	1,47 miljard stelen	338 M€
Phalaenopsis	30 miljoen stuks	146 M€

-Tabel 1- Drie gekozen gewassen met hun gemiddelde jaarproductie en jaarmozet over 2003-2007 [9]

isolatie. Helaas is het in de proefperiode van een jaar niet gelukt om het dek waterdicht te krijgen. Er is een goede warmteterugwinning en warmte/krachtkoppeling. Deze kas is bedoeld voor vruchtgroententeelt, zoals tomaten. De gewasopbrengst was wel minder dan normaal. Investerings in de glastuinbouw worden pas haalbaar geacht als ze binnen zeven jaar zijn terugverdiend. Dat is bij de FlowdeckKas pas het geval als de gasprijs € 0,45/m<sup>3</sup> is.

De SunergieKas is ook bedoeld voor vruchtgroenteteelt. Hierin geldt dat één procent meer lichttransmissie resulteert in één procent meer productie. Met antireflectiecoating op het glas ontstaat er een overall lichttransmissie van 77% (dus inclusief constructie e.d.). Bij een standaard Venlokaas is dat 72%. Er zijn dubbele energieschermen toegepast om 's nachts de warmte vast te houden. Een warmte/krachtkoppeling en een aquifer zorgen ervoor dat na een jaar testen deze kas 29 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> aardgasequivalenten over heeft.

Toch zijn de investeringen pas bij een gasprijs van €0,50/m<sup>3</sup> na zeven jaar terugverdiend. De ZonWindKas is bedoeld voor schaduwminnende planten. Daarom kan de zuidhelling van het dek bestaan uit dubbelglas, waartussen draaibare metalen lamellen zijn bevestigd op koperen buisjes waar water doorstroomt. De lichttransmissie is hierdoor lager, namelijk 61,5%. Het warme water wordt opgeslagen in bassins onder de kas. Na een jaar testen blijkt dat er net zoveel energie wordt opgewekt als gebruikt. Maar de investeringen zijn pas bij een gasprijs van €0,90/m<sup>3</sup> binnen zeven jaar terugverdiend.

De huidige stand van zaken is dus dat het voor de tuinbouw aantrekkelijker is om fossiele energie groot in te kopen dan om te investeren in energiezuinige kassen. Daarom is het belangrijk om nog betere scenario's te ontwikkelen door onder andere te kijken naar combinaties van teelten en gebouwen. Hiervoor is allereerst precieze informatie nodig over de teelt.

## TEELT IN DE GLASTUINBOUW

Om kassen te ontwikkelen die zo energie-efficiënt mogelijk zijn zonder de productiviteit in gevaar te brengen, is het nodig om meer te weten over de energie en CO<sub>2</sub>-behoefte van planten (de blauwdruk genoemd). Tabel 1 illustreert dit voor drie verschillende 'representatieve' gewassen.

De blauwdruk gaat uit van de modernste inzichten over de relatie tussen groei, klimaat en energie. In de tuinbouwpraktijk heet dit 'Het Nieuwe Telen' [7]. Bedenk daarbij dat het klimaat in een kas een productiemiddel is, waarvan de goede of slechte handhaving meer of minder productie tot gevolg kan hebben. De blauwdruk is gegeneerd met het model Kaspro [8] of via concrete gemeten en geregistreerde data uit een praktijkkas.

1. Tomaat als een hoogopgaand kasvullend vruchtgroentegewas. Het gewas bedekt met tussenpaden het vloeroppervlak van de kas tot 3 m hoogte. Het gewas heeft een grote invloed op het klimaat.
2. Chrysant als voorbeeld voor een snijbloemengewas. Het gewas bedekt met tussenpaden het vloeroppervlak tot 1 m hoogte. Het wordt nog steeds in de grond geteeld. De bodem van de kas heeft grote invloed op het klimaat.
3. Phalaenopsis als voorbeeld van een potplantengewas. Het gewas bedekt als een dunne laag (vaak op roltafels) het gehele

vloeroppervlak en heeft geen tussenpaden. Het gewas zelf heeft veel minder invloed op het klimaat dan de twee eerste gewassen.

Het gewas Tomaat is een economisch belangrijk gewas. Van dit gewas is het meest bekend over de modelvorming van de individuele plant en het gewas, de klimaatblauwdruk en de energievraag. Dit is de reden waarom tomaat een veelgebruikt voorbeeld gewas is voor het berekenen van effecten op klimaat, energie en opbrengst. In relatie tot de gegeven vraagstelling van het project is Tomaat een eenvoudig gewas, dus goed als startgewas voor thermische modelvorming en modelvalidatie [10]. Chrysant stelt klimatologisch en installatietechnisch veel meer eisen, omdat de teelt in twee fasen wordt opgedeeld. Naast de standaard eisen voor klimaat, energie en licht, zijn er in deze fasen nog extra eisen voor belichting en verduistering. Het is daardoor een complexer gewas dat een uitbreiding geeft op de andere twee gewassen [11]. De energievraag van Chrysant is ook opgenomen in figuur 2. Evenals Chrysant kent ook de Phalaenopsis twee teeltfasen met elk eigen klimaateisen, die afwijken van de streefwaarden zoals die gelden bij Tomaat. Gedurende het gehele jaar heeft Phalaenopsis in de twee continu doorlopende teeltfasen gelijktijdig warmte en koude nodig. Dit geeft extra mogelijkheden voor het 'uitnutten' van geoogste warmte en koude op het eigen bedrijf. Daarnaast maakt Phalaenopsis onderdeel uit van een ander plantenspecies, aangeduid met de afkorting CAM (zie kadertekst). In tegenstelling tot de Chrysant en Tomaat nemen CAM-planten 's nachts CO<sub>2</sub> op uit de lucht i.p.v. overdag. De hiervoor gegeven keuze van gewassen leidt, door de opbouw in moeilijkheidsgraad, tot drie interessante, elkaar aanvullende onderzoekcases.

### CAM-PLANTEN

*Tomaat en Chrysant koelen zich overdag door te verdampen via het openen van huidmondjes in de bladeren en nemen door die geopende huidmondjes CO<sub>2</sub> op voor de fotosynthese.*

*Overleven in droog woestijnklimaat met weinig en onregelmatige regenval nopen CAM-planten tot vochtopslag in hun bladeren, stengels of wortels. Ze houden overdag hun huidmondjes gesloten om vochtverlies te voorkomen.*

*Tijdens afkoelen 's nachts stijgt de luchtvochtigheid en worden de huidmondjes geopend om CO<sub>2</sub> op te nemen voor tussenopslag in malaat (appelzuur), waaruit het overdag weer wordt vrijgemaakt voor de fotosynthese.*

### ■ NIEUWE GENERATIE KASSEN

ClimateAdaptive Glastuinbouw: Inverse Modelling (kortweg: Cagim) is een vier jaar durende samenwerking van Wageningen UR, TNO Glastuinbouw, De Haagse Hogeschool, TU Eindhoven, TU Delft, Kenlog, Priva en Productschap Tuinbouw. Het project ontvangt Energie Onderzoek Subsidie (EOS) van Agentschap.nl. In 2020 moeten nieuw te bouwen kassen klimaatneutraal zijn. In 2050 moet de gehele energievoorziening duurzaam zijn. De huidige ontwikkelingen leiden weliswaar tot aanzienlijke besparingen, maar klimaatneutraliteit is nog ver weg. Doelstelling van het project is om een substantiële bijdrage te leveren aan de energietransitie in de glastuinbouw.

In plaats van uit te gaan van de verbetering van componenten en concepten die al bestaan, wordt er onderzocht welke componenten en concepten nodig zijn om de energietransitie in de glastuinbouw te bewerkstelligen. Dit gebeurt door 'inverse modellering'. Er zijn indicaties dat met deze aanpak toegepast op gevels 70 a 84% energie bespaard kan worden. Naar verwachting zal de energiebesparing nog groter zal uitvallen. Dit omdat inverse modellering niet alleen wordt toegepast op gevels maar ook op installaties en uiteindelijk op gehele kasconcepten.

Het doel van dit onderzoek is om dynamische eigenschappen van ClimateAdaptive Kassensystemen voor de glastuinbouw te modelleren en te kwantificeren, rekening houdend met de complexe binnenklimaateisen van teelt en teeltcombinaties en de snelle dynamica van het buitenklimaat. Om dit te bereiken, wordt gebruik gemaakt van inverse modellering. Niet de materiaal- of installatie-eigenschappen zijn vaste parameters, maar de gewenste uitkomst: binnenklimaateisen en een energiescenario (zoals energie- of energie-neutraal, of duurzame energieproductie). In plaats van externe weersomstandigheden 'uit te schakelen', kunnen gevelenveloppen met dynamisch controleerbare thermofysische en optische eigenschappen maximaal gebruik maken van de natuurlijk aanwezige energie uit de omgeving. Deze façades kunnen zichzelf regelen naar optimale energie- en binnenklimaatconfiguraties. Op dezelfde wijze worden de toekomstige eigenschappen van installaties en gerelateerde regelstrategieën bepaald.

### ■ DE IDEALE KAS

Hoewel inverse modellering uiteindelijk de ideale kas moet opleveren, zijn er al enkele overwegingen die tot een eerste schets leiden. Vanwege de grote lichttransmissie die veel gewassen nodig hebben, zou er bij grijs weer eigenlijk helemaal geen dek moeten zijn. Maar

om schadelijke insecten buiten en nuttige insecten en CO<sub>2</sub> binnen te houden is er toch een minimaal dek nodig. Een pneu van enkel-laagse ETFE-folie met een lichttransmissie van 94% lijkt dan ideaal (figuur 3). Maar bij te veel zon zal oververhitting ontstaan. Een coating die de NIR omzet in pv kan dit oplossen, maar de ontwikkeling van pv-folie is helaas nog niet zo ver. Voorlopig is dus een tussenoplossing nodig. Ook moet er rekening gehouden worden met condens. Aangezien bij een pneu en vanwege de CO<sub>2</sub> toch al lucht wordt ingeblazen, ligt het voor de hand de condens met gedroogde lucht te voorkomen. De enkellaagse ETFE-folie heeft een zeer lage isolatie voor de nacht en sombere winterse dagen. De folie is ook kwetsbaar bij storm en hagel. Onder deze omstandigheden moet daarom een tweede laag over de constructie heen getrokken kunnen worden. Dat leidt tot een conceptuele schets als in figuur 2.

### ■ MATCH MET GEBOUWEN

In de eerste fase van het Cagim-onderzoek is ook de mogelijkheid onderzocht om verschillende teeltsoorten met een verschillend (energie)vraagpatroon met elkaar te combineren. Daarnaast zijn ook de mogelijkheden van kascombinaties met andere gebouwfuncties geïnventariseerd. Cagim vergelijkt hiertoe de ongelijktijdige warmte- en/of koudevraag van kassen en andere functies. Om te beginnen is het jaarlijkse energievraagpatroon (voor warmte, warmtapwater en koude) gemaakt voor een aantal functies. De gemiddelde jaarlijkse energievraag (per m<sup>2</sup>) en de graad-dagen zijn over het jaar verdeeld. In figuur 3 zijn deze samengevoegd en vergeleken met de energievraagpatronen van verschillende teelten. Ondanks dat de teelten tijdens het groeiproces een grilliger vraagpatroon vertonen, liggen de maximale vragen naar warmte alle gelijk. Dat is wanneer er de minste globale straling is. De hoogste vraag naar koude treedt op bij de minimale vraag naar warmte (alleen bij supermarkten is een constantere vraag naar productkoeling). Daardoor is bij een eventuele koppeling altijd (seizoens)opslag vereist. Een koppeling van CO<sub>2</sub>-vraag voor teelt en aanbod vanuit functies met een hoge gebruikersdichtheid, lijkt meer kansen tot uitwisseling te bieden. Kassen gekoppeld met energiecentrales, klaslokalen of combinaties met wegen kunnen deze uitwisseling mogelijk maken.

### Energetische combinatie van glastuinbouw met andere functies

Uit onderzoek tot nu toe blijkt dat een combinatie van kassen met supermarkten of andere koelte behoevende functies de beste match

geeft voor de energiepatronen door het jaar heen. Een interessante combinatie is een kas die direct is gekoppeld aan een koelopslag van groente of fruit, waarbij een warmtepompsysteem de warmtevraag in de kas en de koudevraag in de koeling grotendeels kan reguleren. Een (kleinere) WKO voor overschotten in zomer en winter blijft waarschijnlijk nodig.

### Integratie kassen met andere gebouwen

Fysieke combinatiemogelijkheden zijn niet noodzakelijk omwille van energieredenen. De genoemde combinatie van glastuinbouw met supermarkt of koelopslag (distributiecentrum) is wellicht ook fysiek mogelijk met een kas op het dak. Te denken valt aan een (echte) versafdeling van een supermarkt. In de gebouwde omgeving hebben kassen ook grote potenties, al is het dan minder in de zin van grootschalige teelt. Kassen op bestaande gebouwen kunnen o.a. de volgende functies vervullen: extra dakisolatielaag, zonnecollector, CO<sub>2</sub>-afvang uit het gebouw, wintertuin of stadsmoestuin, restaurant of bar, educatieve ruimte voor scholen, vergaderruimte voor kantoren. De laatste twee zijn met name interessant omdat in scholen en kantoren veel CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd.

### Nieuwe vormen van teelt in kassen

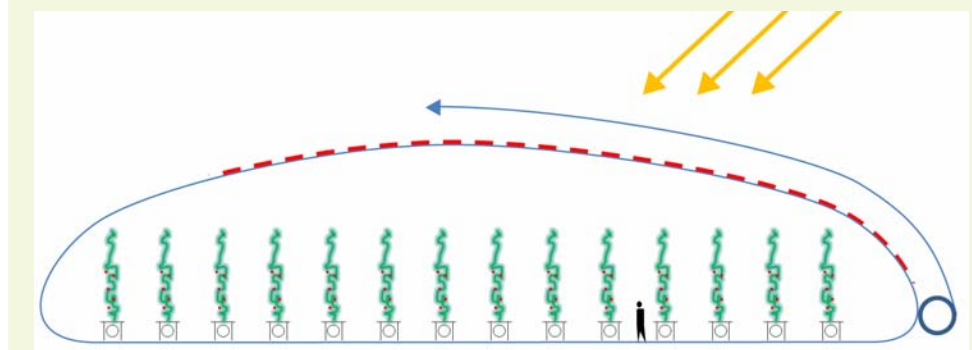
Hierna volgen voorbeelden van nieuwe vormen van teelt die baat hebben bij licht en warmte in kassen. Bovendien hoeven ze niet direct te leiden tot energetisch beter presterende kassen, maar kan de kas functies ondersteunen die impliciet energetische waarde hebben.

- groene algen om afvalwater te zuiveren, proteïnen en biodiesel te maken;
- bacteriën voor de medische industrie, vooral waar licht en warmte een rol spelen;
- energiegewassen die een rol kunnen spelen bij een vergistingsproces met hoog rendement of met een hoge verbrandingswaarde;
- gewassen die als biotisch materiaal kunnen worden gebruikt in bioplastics, bouwmaterialen of consumentenproducten;
- garnalen of (tropische) vissen; tropische soorten in de zomer, in kouder water gedurende soorten in de winter.

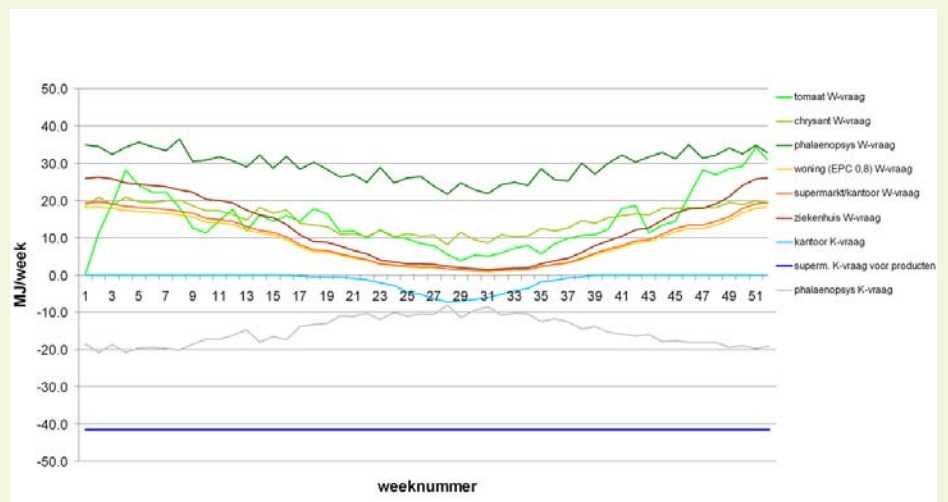
De mogelijkheden lijken legio, maar vragen natuurlijk om nader onderzoek. Onder andere het Cagim-project zou binnen vier jaar meer antwoorden kunnen geven...

### BRONNEN

1. Postbus 51 Brochure 2006 'Kiezen voor de landbouw: glastuinbouw' Ook beschikbaar op <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/publicaties-pb51/kiezen-voor-landbouw-glastuinbouw.html>



-Figuur 2- De ideale kas



-Figuur 3- Vergelijking van warmte- en koudevraag van kassen en gebouwen per m<sup>2</sup>

2. [http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=5LNL&PA=80382ned&D1=1,4,6,9&D2=a&D3=\(l-2\)-l&VW=T](http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=5LNL&PA=80382ned&D1=1,4,6,9&D2=a&D3=(l-2)-l&VW=T)
3. <http://www.kasklimaat.nl/136-Groei+en+productie.htm>
4. [http://www.ocap.nl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=21](http://www.ocap.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=21)
5. <http://www.glastuinbouw.wur.nl/NL/nieuwsagenda/archief/nieuws/2010/elkas130110.htm>
6. Zwart, H.F. De performance van de drie demo-kassen op het Innovatie en Demo Centrum. Wageningen UR Glastuinbouw. 2010.
7. Poot, E.H.; Kempkes, F.L.K.; Gelder, A. de; Janse, J.; Raaphorst, M.G.M. (2010). Nieuw kasdek voor Het Nieuwe Telen. Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1050)
8. Vermeulen, P.C.M. (2010). Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2010 : Kengetallen voor Groenten - Snijbloemen

- Potplanten teelten - Editie 21 (eindred. P.C.M. Vermeulen) Wageningen : Wageningen UR, (Rapporten GTB 1037)
- 9. Dieleman, J.A.; Gelder, A. de; Eveleens, B.A.; Elings, A.; Janse, J.; Lagas, P.; Qian, T.; Steenhuizen, J.W.; Meinen, E. (2009). Tomaten telen in een geconditioneerde kas: groei, productie en onderliggende processen Bleiswijk : Wageningen UR Glastuinbouw, (Nota/Wageningen UR Glastuinbouw 633)
- 10. Raaphorst, M.; Kempkes, F.; Corsten, R.; Roelofs, T.; Veld, P. de (2010) Het Nieuwe Telen bij chrysant: Verkenning van energiebesparingsopties voor de chrysantenteelt Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1042)
- 11. Dueck, T.A.; Boer-Tersteeg, P.M. de; Noort, F.R. van (2011). Teeltversnelling Phalaenopsis door klimaat optimalisatie tijdens op- en afkweek. Wageningen: Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1016A)