(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLÄGGNINGSSKRIFT 89020

(45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 10 00 1990

(51) Kv.lk.5 - Int.cl.5

B 29B 15/12, B 29C 67/14

(21) Patenttihakemus - Patentansökning 883727

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag 11.08.88

(24) Alkupäivä - Löpdag 11.08.88

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig 15.02.89

(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad 30.04.93

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet

14.08.87 DE 3727185 P

SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(71) Hakija - Sökande

1. **Danutec Werkstoff Gesellschaft m.b.H.**, St. Peter-Strasse 25, 4021 Linz, Österreich, (AT)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. **Schnell, Peter**, Waldstrasse 17, 4710 Grieskirchen, Österreich, (AT)
2. **Maier-Lehner, Franz**, 4715 Obertrattnach 70, Österreich, (AT)
3. **Spaun, Rüdiger**, Mitterleitenweg 4B, 4040 Linz, Österreich, (AT)

(74) Asiamies - Ombud: **Leitzinger Oy**

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Menetelmä valmistaa jatkuvatoimisesti esivalmisteita, joilla on korkea kuitumassa
Förfarande för kontinuerlig framställning av förfabrikat med höghaltig fibermassa

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

AT B 365617 (C 08J 5/24), GB B 1542153 (B 32B 31/12)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Esivalmisteiden, joilla on suuri, 500 - 2500 g/m² suuruinen kuitumassa, valmistamiseen tarkoitettu menetelmä, jossa lasista, hiilestä, aramidista, keramiikasta, metallista tai muista epäorgaanisista ja/tai orgaanisista kuitumateriaaleista olevat kuitusäikeet kyllästetään mahdollisesti yhdessä jostakin näistä materiaaleista olevien kankaiden, kerroskankaiden, kuitukankaiden tai mattojen kanssa kertamuovihartseilla liuottimia käyttämättä ja johdetaan kaksoisnauhapuristimeen, jonka ensimmäisessä osassa, painekuumennusvyöhykkeessä, impregnoitu kuitumateriaali muutetaan B-tilaan paineen ja lämmön vaikutuksesta ja jonka toisessa osassa, integroidussa painejäähdytysvyöhykkeessä, jäähdytetään paineen alaisena, jolloin B-tila stabiloituu.

Förfarande för framställning av förfabrikat, som har en höghaltig fibermassa av 500 - 2500 g/m², i vilket fibertrådar av glas, kol, aramid, keramik, metall eller andra oorganiska och/eller organiska fibermaterial impregneras eventuellt tillsammans med vävnader, skiktade vävnader, fibervävnader eller mattor bestående av något av dessa material med duroplasthartser utan användning av lösningsmedel och ledes till en dubbelbandpress, i vars första del, tryckvärmezonen, det impregnerade fibermaterialet överföres till ett B-tillstånd under påverkan av tryck och värme och i vars andra del, den integrerade tryckkylzonen, underkastas kylning under tryck, varvid B-tillståndet stabiliseras.

Menetelmä valmistaa jatkuvatoimisesti esivalmisteita, joilla on korkea kuitumassa - Förfarande för kontinuerlig framställning av förfabrikat med höghaltig fibermassa

Keksinnön kohteena on esivalmisteiden, joilla on suuri kuitumassa, jatkuvatoiminen valmistusmenetelmä kaksoisnauhapuristimessa, jossa on painekuumennusvyöhyke ja integroitu painejäähdytysvyöhyke.

Patenttijulkaisusta GB 1.542.153 on tunnettua kyllästää lujituskuidut lämmön avulla kovetettavalla hartsilla ja jättää A-tilaan lämmön ja/tai paineen vaikutuksen alaisena tai korkeintaan muuttaa B-tilaan. Näin valmistetut esivalmisteet ovat kylläkin ohuita, sillä niiden pintapainot ovat vain 150 - 250 g/m2. Esivalmisteiden valmistaminen tapahtuu tällöin kahdessa erillisessä vaiheessa siten, että ensin laitetaan päälle ohut hartsikalvo ja mahdollisesti mukana oleva liuotin poistetaan, jolloin syntyy liuotinta sisältämätön, kuiva ja huuhdeltavissa oleva hartsikalvo. Toisessa vaiheessa johdetaan kaksi tällaista hartsikalvoa yhdessä hiili- tai lasikuiduista olevan kerroksen kanssa useiden parittomien telojen telarakojen läpi, jolloin muodostuu esivalmiste. Tämän menetelmän suurin haitta on, että tarvitaan kaksi erillistä työtapahtumaa.

Esivalmisteet valmistetaan tavallisesti kuitenkin käyttämättä painetta tornimaisissa kammioissa, joissa hartsilla kyllästettyä viristysmateriaalia kuljetetaan edestakaisin, jolloin useimmiten mukana oleva liuotin höyrystetään lämpimän kiertoilman avulla ja hartsi muuttuu B-tilaan (E.W. Laue "Glasfaserverstärkte Polyester und andere Duromere", 1969, sivut 311 - 318). Tällaisissa tornilaitoksissa käsitellään enimmäkseen kankaita eikä esikehruulankoja, koska kuidun kuljettaminen on liian monimutkaista: Jokainen kuitusäie täytyy kuljettaa yksitellen, mihin tarvitaan lukuisia puolia ja ohjauslaitteita. Tavanomaisella 10 - 20 m torninkorkeudella, jonka jokaisen kuitusäikeen on kuljet-

tava ylös ja alas, on aina olemassa vaara, että yksittäiset esikehruusäikeet tai yksittäiset filamentit kulkevat päällekkäin, jolloin lasin jakaantuminen esivalmisteessa ei enää ole homogeenista. Tällaisia suuria tornilaitoksia ei sen vuoksi käytetä Roving-esivalmisteiden vaan kangasesivalmisteiden valmistamiseen, tavallisesti käyttämällä liuotinta, joka on jatkokäsiteltävä erikseen. Jos mitään liuotinta ei käytetä, niin kuitujen kostuttaminen hartsilla on vaikeampaa, impregnoitavuus pienenee. Jos on valmistettava paksumpia esivalmisteita, joissa kuitupitoisuus on korkeampi, niin myös tällöin impregnoitavuus pienenee kuitupitoisuuden kasvaessa (Wiedemann et al. julkaisussa "Plastverarbeiter", 32. vuosikerta (1981) 4, sivut 459-464, kappale 3.4).

Paksuille kangastyypeille on jo myös ehdotettu, että ennen impregnointitorniin tuloa kangas johdetaan impregnoinnin laadun parantamiseksi tiivistetyn impregnointiastian läpi, jonka läpi impregnointiliuos pumpataan paineenalaisena (Laue, sivu 314).

Täysin kovetettujen lujitettujen laminaattiratojen valmistamiseksi kyllästämällä lasikuituratoja kertamuovihartseilla, jotka radat kovetetaan täysin kaksoisnauhapuristimessa paineen avulla, on kuvattu patenttijulkaisussa AT 365.617. Tällaisia täysin kovetettuja ratoja ei, päinvastoin kuin esivalmisteet voidaan sulattaa tai muotoilla uudestaan jälkeenpäin tapahtuvaa työstöä varten.

Esillä olevan keksinnön tavoitteena oli siten löytää yksinkertainen menetelmä esikehruulangoista olevien esivalmisteiden tai esikehruulankojen ja kankaiden, kerroskankaiden tai kuitukankaiden yhdistelmistä olevien esivalmisteiden valmistamiseen, joka menetelmä mahdollistaisi kuitumassaltaan korkeiden esivalmisteiden valmistamisen käyttämättä impregnointitornia ja käyttämättä liuottimia.

Tähän tavoitteeseen päästään siten, että kuitujen impregnointi ja hartsin muuttaminen B-tilaan tapahtuu vaakasuorassa kaksoisnauhapuristimessa, jolloin impregnoidun kuitumateriaalin hartsi muuttuu painekuumennusvyöhykkeessä B-tilaan, joka stabiloidaan, "jäädytetään" painejäähdytysvyöhykkeessä, joka on integroitu kaksoisnauhapuristimeen.

Esillä olevan keksinnön kohteena on siten menetelmä valmistaa jatkuvatoimisesti esivalmisteita, joilla on korkea, 500 - 2500 g/m^2 suuruinen kuitumassa, jossa lasista, hiilestä, aramidista, keramiikasta, metallista tai muista epäorgaanisista ja/tai orgaanisista kuitumateriaaleista olevat kuitusäikeet mahdollisesti yhdessä jostakin näistä materiaaleista olevien kankaiden, kerroskankaiden, kuitukankaiden tai mattojen kanssa kyllästetään kertamuovihartseilla liuottimia lisäämättä ja johdetaan kaksoisnauhapuristimeen, jolle menetelmälle on tunnusomaista, että kaksoisnauhapuristimen ensimmäisessä osassa, painekuumennusvyöhykkeessä, muutetaan impregnoitu kuitumateriaali paineen ja lämmön vaikutuksesta B-tilaan ja toisessa osassa, integroidussa painejäähdytysvyöhykkeessä, jäähdytetään paineenalaisena, jolloin B-tila stabiloituu.

Menetelmän suorittamiseen voidaan käyttää seuraavia kuituja: Lasikuidut E- tai R-lasista, hiilikuidut, aramidikuidut, keraamiset, metalli- tai muut epäorgaaniset ja/tai orgaaniset kuidut. Kuituja käytetään esikehruulankoina, jolloin erityisen hyviä ovat E-lasiset lasikuitu-esikehruulangat, joiden paksuus on 1200 tai 2400 tex. Esikehruulankojen lisäksi on kuitenkin mahdollista käyttää myös kankaita, kerroskankaita, kuitukankaita tai mattoja. Keksinnön eräs oleellinen etu on mahdollisuus yhdistää esikehruulangat, jotka antavat esivalmisteesta valmistetulle rakenneosalle parhaimmat mekaaniset ominaisuudet pituussuunnassa, kankaiden tai vastaavien kanssa, jotka antavat rakenneosalle lisäksi poikittais- ja kiertämislujuuden. Lisäksi on mahdollista käyttää kuituyhdistelmiä, nk. kuituhybridejä.

Kertamuovihartseina toimivat ennen kaikkea liuottimia sisältämättömät epoksidihartsisysteemit, jotka ovat nestemäisiä huoneen lämpötilassa tai korotetuissa lämpötiloissa ja jotka voidaan lämpöä johtamalla muuttaa B-tilaan. Nämä epoksidihartsisysteemit ovat ensi sijassa bisfenoli-A-tyyppisiä, jolloin mahdollisesti on lisätty muita epoksidiryhmäpitoisia hartseja ja lisäaineita, kuten esimerkiksi reaktiivisia laimentimia, joustoa antavia aineita ja vastaavia.

Kovettimina toimivat esimerkiksi aromaattiset amiinit, sykloalifaattiset amiinit, amiiniseokset, esimerkiksi aromaattisten ja sykloalifaattisten amiinien seokset, happoanhydridit, latentit kovettimet, esimerkiksi imidatsoli-, syanamidipohjaiset, jolloin mahdollisesti on lisätty nopeuttimia, esimerkiksi bentsyylidimetyyliamiinia.

Menetelmän suorittamista varten levitetään hartsikalvo hartsin levityslaitteella, esimerkiksi raakkelin avulla erotusfolion päälle. Tähän hartsikalvoon laitetaan esikehruulangat, mahdollisesti yhdessä kankaiden, kerroskankaiden, kuitukankaiden tai mattojen kanssa, jolloin kuitumateriaali laitetaan parhaiten siten, että kostuttaminen kosketuksessa hartsisysteemin kanssa tapahtuu alhaalta ylöspäin, ja siten kuitufilamenttien välinen ilmatila täyttyy mahdollisimman tasaisesti hartsilla. Tätä kyllästysosaa on edullista kuumentaa ja näin alentaa hartsin viskositeettia ja parantaa kuitujen kostumista. Tässä kohden tapahtuu hartsi/kovetinseoksen esigeeliintyminen. Lisäksi on mahdollista lisätä ensimmäiseen kuitukerrokseen välittömästi kyllästämisen jälkeen muita, jo impregnoituja kuitumateriaaleja.

Kaksoisnauhapuristimen ensimmäisessä osassa, nk. painekuumennusvyöhykkeessä, impregnoitu kuitumateriaali muuttuu B-tilaan paineen ja lämmön vaikutuksesta. Impregnoidun ja esigeeliytyneen kuidun ja hartsin seoksen liittäminen tapahtuu siten, että kaksoinauhapuristimen ylemmän ja

alemman nauhan väliin on säädetty kiilamainen rako, jolloin impregnoituun kuitumateriaaliin kohdistuva paine kasvaa jatkuvasti. Tämä estää aluksi vielä matalaviskoosisen hartsin puristumisen ulos. Painetta, lämpötilaa ja valmistusnopeutta säädetään käytetyn hartsin ja kovettimen laadun perusteella. Painekuumennusvyöhykkeen lämpötila on noin 90 - 160°C, mieluummin 110 - 150°C. Impregnoituun kuitumateriaaliin kohdistuva paine nousee painekuumennusvyöhykkeen alusta loppuun 0,5 - 3 bariin.

Kaksoisnauhapuristimen toisessa osassa, integroidussa painejäähdytysvyöhykkeessä jäähdytetään kuuma esivalmiste paineenalaisena, jolloin B-tila stabiloituu ja estetään muuttuminen verkostuneeseen C-tilaan. Jäähdyttäminen tapahtuu kaksoisnauhapuristimen kiertävien teräsnauhojen avulla paineen alaisena, mikä takaa lämmön nopean poisjohtamisen. Hartsin B-tila stabiloituu, nk. "jäätyy". Painejäähdytysvyöhykkeen paine nousee painekuumennusvyöhykkeen loppupainesta 1 - 3 bariin ja on painejäähdytysvyöhykkeen lopussa tarkoituksenmukaisesti 0,5 bariin asti suurempi kuin painekuumennusvyöhykkeen loppupaine. Jäähdyttäminen tapahtuu mahdollisimman nopeasti noin 50 - 80°C:een, niin että tämä lämpötila on vähintään 50°C painekuumennusvyöhykkeen lämpötilaa alempi.

Säilyttämällä paine molemmissa vyöhykkeissä taataan yksittäisten filamenttien hyvä kostuminen hartsi/kovetinseoksella ja esivalmisteen vakiona pysyvä paksuus yli koko radan leveyden. Koko ajan ylläpidetty paine kiinnittää lisäksi kuidut poikittain pituusakseliin nähden, mikä estää kuitujen taipumuksen siirtyä poikittaissuunnassa.

Kaksoisnauhapuristimesta poistumisen jälkeen voidaan esivalmiste tavalliseen tapaan kelata kelauslaitteessa ja varastoida. Valmistusnopeus on noin 1 - 6 m/min., mieluummin 2 - 4 m/min.

Näin valmistettujen esivalmisteiden varastointikestävyys on erittäin hyvä. Se vastaa tavanomaisia vaatimuksia ja on tavanomaisia hartsi/kovetinsysteemejä käytettäessä huoneen lämpötilassa vähintään 2 viikkoa, -18°C:ssa vähintään 2 kuukautta.

Näin valmistettujen esivalmisteiden kuitupitoisuus on 500 -2500 g/m^2, mieluummin 600 - 1500 g/m^2, ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi suksien tai lehtijousien valmistamiseen.

Esimerkki 1:

Kaksoisnauhapuristimessa, jonka kiertonopeus on 3 m/min. ja valmistusleveys 1000 mm, upotetaan 2400 tex lasi-esikehruulankoja (3,6 lankaa/cm antaa lasikuitujen pitoisuudeksi 860 g/m^2) hartsikalvoon, joka muodostuu 100 paino-osasta bisfenoli-A-epoksidihartsia ja hartsiseoksesta, joka sisältää 19 paino-osaa isoforonidiamiinia ja 9,2 paino-osaa diaminodifenyylimetaania. Lasikuidut kyllästetään kyllästysosassa 90°C lämpötilassa ja johdetaan sen jälkeen kiertävien teräsnauhojen puristusosaan, jossa esivalmiste säädetään B-tilaan 140°C lämpötilassa ja 1 bariin nousevassa paineessa. Välittömästi painekuumennusvyöhykettä seuraavassa painejäähdytysvyöhykkeessä jäähdytetään 80°C:een 1,5 bariin nousevassa paineessa.

Tällä tavoin valmistettu esivalmiste kelataan rullaksi ja säilytetään kylmähuoneessa muuhun käyttöön asti. Varastointikestävyys huoneen lämpötilassa on vähintään 2 viikkoa, -18°C:ssa vähintään 2 kuukautta.

Esivalmisteille on tunnusomaista kuiva, sileä pinta ja yhtenäinen 0,90 mm paksuus. Esivalmisteen pintapaino on 1320 g/m^2, hartsipitoisuus 35 paino-%, hartsin valuma 4 paino-%, haihtuvia aineita ei mitattavissa.

Esimerkki 2:

Kaksoisnauhapuristimessa, jonka kiertonopeus on 3,5 m/min., ja valmistusleveys 1000 mm, upotetaan 2400 tex lasi-esikeh-ruulankoja (5 lankaa/cm antaa lasikuitujen pitoisuudeksi 1200 g/m^2) ja polyakryylikuitukangasta (pintapaino 25 g/m^2) hartsikalvoon, joka muodostuu 100 paino-osasta bisfenoli-A-epoksidihartsia Ja hartsiseoksesta, jossa on 9,5 paino-osaa syanamidia, 1,0 paino-osaa adipiinihappoa ja 1,0 paino-osaa bentsyylidimetyyliamiinia. Impregnointi kyllästämisosassa tapahtuu 100°C lämpötilassa. Säätö B-tilaan suoritetaan painekuumennusvyöhykkeessä 120°C lämpötilassa ja 0,8 bariin nousevassa paineessa. Välittömästi painekuumennusvyöhykettä seuraavassa painejäähdytysvyöhykkeesä jäähdytetään 60°C lämpötilaan 1,3 bariin nousevassa paineessa.

Esivalmisteille on tunnusomaista hieman tarttuva, sileä pinta ja yhtenäinen 1,3 mm paksuus. Esivalmisteen pintapaino on 1945 g/m^2, hartsipitoisuus 37 paino-%, hartsin valuma 20 paino-%, haihtuvia aineita ei ole mitattavissa.

Tällä tavoin valmistettu esivalmiste kelataan rullalle ja säilytetään kylmähuoneessa muuhun käyttöön asti. Varastoinninkestävyys huoneen lämpötilassa on vähintään 2 viikkoa, -18°C:ssa vähintään 2 kuukautta.

Esimerkki 3:

Kaksoinauhapuristimessa, jonka kiertonopeus on 3,5 m/min. ja valmistusleveys 1000 mm, upotetaan 2400 tex lasi-esikeh-ruulankoja (5,4 lankaa/cm antaa lasikuitujen pitoisuudeksi 1296 g/m^2) ja hiili-lasikuitu-sekakangasta, jonka pintapaino on 170 g/m^2, hartsikalvoon, joka muodostuu 100 paino-osasta bisfenoli-A-epoksidihartsia ja 6 paino-osasta 2-etyyli-4-metyyli-imidatsoli-kovetinta. Impregnointi kylläs-tysosassa tapahtuu 110°C lämpötilassa. Säätö B-tilaan suo-ritetaan painekuumennusvyöhykkeessä 130°C lämpötilassa ja

1 bariin nousevassa paineessa. Välittömästi painekuumennusvyöhykettä seuraavassa painejäähdytysvyöhykkeessä jäähdytetään 70°C lämpötilaan 1,5 bariin nousevassa paineessa.

Esivalmisteelle on tunnusomaista kuiva, sileä pinta ja yhtenäinen 1,5 mm paksuus. Esivalmisteen pintapaino on 2190 g/m^2, hartsipitoisuus 33 paino-%, hartsin valuma 10 paino-%, haihtuvia aineita ei ole mitattavissa.

Tällä tavoin valmistettu esivalmiste kelataan rullalle ja säilytetään kylmähuoneessa muuhun käyttöön asti. Varastointikestävyys huoneen lämpötilassa on vähintään 2 viikkoa, -18°C:ssa vähintään 2 kuukautta.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä valmistaa jatkuvatoimisesti esivalmisteita, joilla on korkea, 500 - 2500 g/m^2 suuruinen kuitumassa, jossa lasista, hiilestä, aramidista, keramiikasta, metallista tai muista epäorgaanisista ja/tai orgaanisista kuitumateriaaleista olevat kuitusäikeet mahdollisesti yhdessä jostakin näistä materiaaleista olevien kankaiden, kerroskankaiden, kuitukankaiden tai mattojen kanssa kyllästetään kertamuovihartseilla liuottimia lisäämättä ja johdetaan kaksoisnauhapuristimeen, t u n n e t t u siitä, että kaksoisnauhapuristimen ensimmäisessä osassa, painekuumennusvyöhykkeessä, muutetaan impregnoitu kuitumateriaali paineen ja lämmön vaikutuksesta B-tilaan ja toisessa osassa, integroidussa painejäähdytysvyöhykkeessä, jäähdytetään paineenalaisena, jolloin B-tila stabiloituu.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että esivalmisteiden kuitupitoisuus on 600 - 1500 g/m^2.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että kuitusäikeet ovat lasista.

4. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että paine painekuumennusvyöhykkeessä nousee sen alusta sen loppuun 0 baarista 0,5 - 3 bariin ja painejäähdytysvyöhykkeessä sen alusta sen loppuun painekuumennusvyöhykkeen loppupaineesta 1 - 3 bariin, jolloin paine painejäähdytysvyöhykkeen lopussa on 0,5 bariin asti suurempi kuin paine painekuumennusvyöhykkeen lopussa.

5. Jonkin patenttivaatimuksen 1 - 4 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että painekuumennusvyöhykkeessä lämpötila on 90 - 160°C, parhaiten 110 - 150°C, ja painejäähdytysvyöhykkeen lopussa lämpötila on 50 - 80°C, jolloin tämä lämpötila on vähintään 50°C pienempi kuin painekuumennusvyöhykkeen lämpötila.

Patentkrav

1. Förfarande för kontinuerlig framställning av förfabrikat med en höghaltig fibermassa av 500 - 2500 g/m^2, varvid fibertrådarna av glas, kol, aramid, keramik, metall eller andra oorganiska och/eller organiska fibermaterialer eventuellt tillsammans med vävnader, skiktade vävnader, fibervävnader eller mattor bestående av något av dessa materialer impregneras utan tillsats av lösningsmedel med duroplasthartser och matas till en dubbelbandpress, k ä n n e t e c k n a t därav, att i dubbelbandpressens första del, tryckvärmezonen, det impregnerade fibermaterialet under påverkan av tryck och värme överföres till ett B-tillstånd och i den andra delen den integrerade tryckkylzonen, detta fibermaterial kyles under tryck, varvid B-tillståndet stabiliseras.

2. Förfarande enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t därav, att förfabrikatens fiberhalt är 600 - 1500 g/m^2.

3. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a t därav, att fibertrådarna är av glas.

4. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 3, k ä n n e t e c k n a t därav, att trycket i tryckvärmezonen stiger från dess början till dess slut från 0 bar till 0,5 - 3 bar och i tryckkylzonen från dess början till dess slut från tryckvärmezonens sluttryck till 1 - 3 bar, varvid trycket vid tryckkylzonens slut är upp till 0,5 bar högre än trycket vid tryckvärmezonens slut.

5. Förfarande enligt något av patentkraven 1 - 4, k ä n n e t e c k n a t därav, att temperaturen i tryckvärmezonen är 90 - 160°C, företrädesvis 110 - 150°C, och vid slutet av tryckkylzonen 50 - 80°C, varvid denna temperatur är minst 50°C lägre än tryckvärmezonens temperatur.