

Föreliggande uppfinning avser en anordning för värmeutbyte mellan ett gasflöde och elementytan av i flödesriktning väsentligt längdutsträckta element genomströmmade av ett vätske-eller gasformat, kylande eller värmande medium, varvid gasflödet drives inom kanaler mellan elementytorna väsentligen i motström mot mediet.

Teknikområde för uppfinningen är värmeväxling gas/vätska och gas/gas för större massflöden inom industriella processer och ventilationsbranschen och berör följande aspekter på värmeutbyte mellan gas och en elementyta.

1. Värmeövergångstal. Ju högre värmeöverföringstalet är, ju effektivare nyttjas elementyta. Gångse värmeväxlare såsom lamellbatterier eller liknande arbetar med gashastighet 2-3 m/s, kanaldimension om 4-6 mm och värmeöverföringstal i storleksordning 16-26 w/kvm,h grad. En dramatisk ökning till ca 96 w/kvm,h,grad erhålles genom att öka kanaldimension till ca 25 mm, gashastighet till 6-9 m/s och framför allt genom i kanalen insatt turbulensskapande organ, vilket är ett första syfte med uppfinningen.
2. Nedsmutsning av elementyta reduceras med glatt yta och den höga gashastigheten. Rengöring av ytan underlättas därtill av att elementen enligt uppfinningen enkelt kan säras, rengöras individuellt och återstaplas, vilket är ett andra syfte.
3. Med sålunda staplade standardelement hopfogas enkelt växlarpaket med valfri kapacitet och temperaturverkningsgrad, vilket förenklar tillverkning, lagerhållning och distribution, vilket är ett tredje syfte.
4. Elementytan utgöres enligt uppfinningen av foliematerial i plast. Polyesterfilm föredrages pga formstabilitet, hög dragstyrka och kemisk resistens. Filmen klarar alla fall av svårt korrosiva vätskor och gaser till en ringa bråkdel av kostnaden för exempelvis syrefast, rostfritt stål. Ett lågt materialpris i kombination med nämnda höga värmeöverföringstal bäddar för en exceptionell kostnadseffektivitet, vilket är ett fjärde syfte.
5. Elementyta av veka foliematerial fordrar en mekanisk uppstöttning av folien. En enkel stegformad struktur fyller i uppfinningen samtidigt uppgift att ge mekanisk styvhet åt elementet, åstadkomma önskad turbulens i gasströmningen och uppstötta folieytan, vilket är ett femte syfte.

Nämnda syften uppnås med i kraven angivna kännetecken.

Uppfinningen beskrives nedan i anslutning till figurerna . Figurer 1 och 2 visar i tvärsektion och längdsektion uppbyggnad av ett växlarpaket. Figur 3

visar i tvärsektion ett vätskematat växlarpaket, figur 4 i längdsektion detalj av inmatning av vätskeflöde och figur 5 utmatning av vätskeflöde. Figur 6 visar i tvärsektion och figur i längdsektion utformning av gasmatade element och figur 8 plan av gasmatade element. Figur 9 visar elevation av växlarpaket för vätska/gas. Figur 10 visar elevation av växlarpaket för gas/gas och figur 11 tryckfall för gasflöden.

I referens till figurer 1 och 2 betecknas med 2 i flödesriktning väsentligt längdutsträckta, platta element 2 vid drift genomströmmade från en kortändan till den andra av ett vätske- eller gasformat, kylande eller värmande medium 3. På ett i flödesriktningen sluttande underlag 7 staplas på varann till ett växlarpaket 6 på flatan ett valfritt antal element 2 växelvis med distans-och turbulensskapande stegar 5. Växlarpaketet avslutas uppåt med en takplatta 61. Frånsett in- och utlopp för gas täckes växlarpaketet med en mot paketet insugen tät duk 62. Värmeutbyte mellan ett gasflöde 1 och elementytan 21 sker genom att suga gasflödet genom av staplingen och duktäckningen bildade kanaler 4, varvid gasflödet drives väsentligen i motström mot mediet 3. Växlarpaketet 6 sammanpressas av egenvikt av element och stegar samt av atmosfärtrycket på takplattan åstadkommen genom att ett luftrum 63 mellan duk 62 och plattan är ansluten direkt till sugfläktar 8 för gasflödet 1. Med exempelvis ett tryckfall inom kanalerna 4 om 40mm vp bidrar takplattan med en belastning om 40 kg/kvm. Med beskriven uppbyggnad av växlarpaketet 6 uppnås följande fördelar. En valfri kapacitet skapas med på varann staplade standardenheter av element och stegar. Paketet kan enkelt särtagas för rengöring eller utbyte av delar och återstaplas. Inga packningar behövs mellan lagen av element/stegar och termisk expansion/kontraktion samt krympning/svällning i ingående trämaterial kan fritt ske.

Stegarna 5 omfattar i tunnplåt och hattprofil pressade stegprofiler 52 häftade med 8 mm häftklammer på tvärs å längsgående, ca 8 mm tjocka ribbor 51, företrädesvis häftade växelvis å ömse sidor av ribborna. Stegprofilerna 52 pressas med en bygghöjd om ca 8 mm av lämpligen ca 35 mm band av 0.3 mm hårdaluminium. I stegarna 5 ingår distansklossar 53, varmed vid staplingen utbildade kanaler 4 erhåller en bygghöjd om i storleksordning 25 mm. Med en gashastighet i storleksordning 6 m/s, ökande till 9 m/s vid passage över profilerna, uppnås enligt mätningar ett värmeövergångstal om ca 96 w/kvm, h grad mellan gasflödet 1 och elementytan 21. Detta effektiva värmeutbyte är främst en följd av turbulens skapad av stegarna 5 och nås med ett helt acceptabelt tryckfall i kanalerna 4 om ca 8 mmvp per meter kanallängd.

Nedan beskrivs utformning enligt uppfinningen av elementen 2 vid vätske- respektive gasformat medium 3. Härvid nyttjas till elementyta 21 våder 21', 21'' av en formstabil, dragstark folie företrädesvis polyesterfilm. Filmen äger för ändamålet lämpade egenskaper såsom formstabilitet, hög

dragstyrka och hög kemisk resistens mot aggressiva komponenter i gasflöde 1 eller medium 3. Filmen är kommersiellt tillgänglig i ett brett spektrum av rullbredder och tjocklekar och kan hållbart fogas eller fixeras med passande dubbelhäftande tejp. Stegarna 5 tillhandahåller erforderlig mekanisk uppstöttning av filmen.

Figurer 3-5 illustrerar utformning med ett vätskeformat medium 3. Vardera element 2 omfattar dubbla våder 21', 21" omslutande mediet i form av kapillärt utbredd fallfilm 31 och omfattar våderna hopklämda utmed långkanterna 26 mellan sagda distansklotsar 53 utformade som heldragna kantlister. Underliggande våd 21" utgöres lämpligt av ett styvare material såsom 125 my polyesterfilm vilande mot underliggande stegar 5 medan övre våd 21' utgöres av ca 50my polyesterfilm elastiskt eftergivlig för vågfronter i strömningen av fallfilm 31. I en lämplig utföringsform är våden 21" uppdelad på varann överlappande planark, vardera häftlimmad mot en sagd stega 5 och våden 21' utrullad över lagda stegar.

Figur 4 illustrerar inmatning av mediet 3 och utsugning av gasflödet 1 utmed en i horisontalplan utsträckt övre gavel 64 av växlarpaketet 6. Vardera vådpar 21', 21" är laminerade till flänserna av en bockad plåtprofil 23 stelt förbunden med kantlisterna 53. Via hål 34 i livet på plåtprofilerna är instuckna klena plastslangar 32 inkopplade till grova matningsrör 33 i plastmaterial för mediet 3. Med ett mycket stort antal slangar 32 i identiska längder och tryckfall likformigt fördelade utmed elementen 2 och elementbredderna uppnås att totalflödet av mediet 3 fördelas jämt inom samtliga fallfilmer 31 och detta oberoende av variation av massflödet 3.

Figur 5 illustrerar avtappning av mediet 3 och insugning av gasflödet 1 utmed en i horisontalplan utsträckt undre gavel 65 av växlarpaketet 6. Underliggande våder 21" är vardera laminerad till flänsen av en bockad plåträna 24 stelt förbunden med kantlisterna 53. Rännorna uppsamlar och avleder utflödena av fallfilmer 31 sidledes till samlingskärl.

För en ökad förståelse beskrives anordningen med ett dimensioneringsexempel i referens till figur 9. Ett växlarpaket 6 är staplat i ett horisontellt läge på ett vridbart underlag 7 med 50 lag av element 2 och stegar 5 uppbyggda vardera av 3 stegar av planmått 0.8x2m med planark 21" och våd 21' med planmått 0.8x6m. Total elementyta $21 = 450 \text{ kvm}$. Med beskriven vätskefördelning monterad och paketet täckt med takplatta 61 och duk 62 reses det och anslutes mot sugkanal och sugfläktar 8. Glidning av stegarna 5 förhindras genom att kantlisterna 53 via stift stöder mot konsoler 71 momentstyvt fästade å underlaget 7. Strömningsarea i kanaler 4 $= 1 \text{ kvm}$ och totalflöde 1 drivet med 6 m/s $= 22000 \text{ kbm/h}$. Tryckfall i kanalerna $= 50 \text{ mm vp}$, vilket belastar takplatta 61 med 240 kg och 20 kg

per meter kantlist 53. Fläktdriften drar ca 7 kw. Uppnått värmeöverföringstal gasflöde 1/medium 3 ca 96 W/kvm,h°.

Driftexempel 1. Ett tämligen aggressivt lågtempererat spillvattenflöde 3 om 8000 kg/h av temperatur +40° utnyttjas att maximalt värma uteluft 1 med medeltemperatur +5° för torkning av biobränsle under 7 000 h /år . Med en temperaturdifferans om 5° överföres $450 \times 5^\circ \times 96 = 220$ kw, värmande luftflödet $+5^\circ/+35^\circ = 22000 \times 30^\circ \times 0.35 = 220$ kw och motsvarande kylande vattenflödet 3 $+40^\circ/+10^\circ$. Uppnådd temperaturverkningsgrad i värmeväxlingen = $30/35 = 0.86$. Växlarpaketet omsätter ca 1500 Mwh/år med en apparatkostnad i storleksordning 0.5 öre /kwh.

Den i apparaturen långt drivna värmeväxlingen får en dubbel ekonomisk effekt, dels kramas maximalt nyttiggjort värme ur spillvattenflödet 3 och dels ökar verkningsgraden i torkningsprocessen ju mer lufttemperaturen ökas. Att åstadkomma motsvarande effektiv värmeväxling med känd teknik såsom seriekopplade flänsbatterier etc är inte lösbart pga av prohibitiv kostnad och tryckfall.

Driftexempel 2. För kylning av en byggnad inblåses ett uteluftflöde 1 om 22000 kbm/ h med temperatur +30° och RH= 50% nedkyld till +11°/RH=100% via värmeväxling mot ett kylvattenflöde 3 om 15000 kg/h och temperatur +8°. Kyleffekt för temperatursänkningen = $22000 \times 19^\circ \times 0.35 = 145$ kw och för torkning av luften med 130 kg/h = $130 \times 0.7 = 90$ kw. Kylvattenflödet pumpas från den kalla regionen av en akvefär och släpps med temperatur +21° och kondensatet i en varm del. Kostnaden för överföringen av totala kyleffekten 235 kw från akvifer till byggnad är ca 10 kw eleffekt för fläktar/pumpar eller ca 5 öre/kwh och ca 0.5 öre /kwh för apparatkostnad . Väsentligt är en långt driven värmeväxling och nedtorkning av luftflödet 1 åstadkommen med anordningen, så att ett behagligt inneklimat i byggnaden om ca 22° och RH om ca 50% erhålles.

Driftexempel 3. För luftbyte och uppvärmning av en byggnad inblåses ett uteluftflöde 1 om 22000 kbm/h med temperatur -10° uppvärmt till +25° via värmeväxling mot ett varmvattenflöde 3 om 8700 kg/h och temperatur = +30° pumpat från en uppvärmd region av en akvefär och återfört till den kalla regionen vid temperatur om ca +3°. Kostnaden för överföring av värmeeffekten 270 kw är ca 10 kw eleffekt för fläktar /pumpar eller ca 4,5 öre/kwh och ca 0,5 öre/kwh för apparatkostnad. Den långt drivna värmeväxlingen är väsentlig för ett effektivt utnyttjande av en lågtempererad värmekälla. Liksom i exemplet ovan är vattenkvaliten i akviferen utan inverkan på livslängden på det i plastmaterial uppbyggda växlarpaketet 6.

Driftexempel 4. Två växlarpaket 6 om samma storlek och luftflöden som i exemplen ovan är vätskekopplade via ett cirkulationsflöde 3 för kylning av frånluft resp värmning av tilluft till en byggnad. Temperaturverkningsgrad i systemet $= 0.86 \times 0.86 = 0.74$ och väsentligt överlägsen med vad som åstadkommes med konventionella flänsade luftbatterier. Med en genomsnittlig återvinning på 13° mellan luftflödena under 5000 drifttimmar/år återvinnes 500 Mwh/år med dubbla paket 6 till en apparatkostnad om ca 3 öre/kwh och 17 öre/kwh för eldriven fläkt och pumpdrift. Kostnaden är väsentligt högre än i exemplen ovan men fortfarande attraktiv.

I referens till figurer 6-8 beskrives nedan anordningen med sagt medium 3 utgörande gas. Vardera element 2 omfattar som elementyta 21 en våd 21" lämpligen av nämnd styvare, 125 my tjock polyesterfilm hopvikt med skarpa folieveck 25 och samlaminerad utmed långkanterna 26 och härmed formande en platt tub. Våden är inlagd inom en ram av två längdutsträckta kantprofiler 27 och dubblerade gavelprofiler 28 och förankrad mot gavelprofilerna, därmed utbildande tubmynningar 29 för ett gasflöde 3.

Ett växlarpaket 6 är sammansatt enligt nämnda principer med elementen växelvis staplade med stegar 5. In-och utlopp 41 för gasflödet 1 är anordnade utmed ändarna av växlarpaketets långsidor 66. Under drift belastas våden 21" av ett inre övertryck P relativt kanalerna 4 som funktion av tryckfallen i gasflödena 1,3 och formar med krökningsradie R utspända buktar mellan anliggande, tryckupptagande stegprofiler 52 i stegarna 5. Deformation i våden tas upp genom bälgverkan i vecken 25 och dragspänning P' i våden tas upp i ramverket 27,28.

Med pilhöjd i bukterna betecknad med A och cc- avstånd mellan profilerna 52 med C erhålles sambanden : $Ax2R = CxC$ $PxR=P'$. Med dragspänning P' konstant och en dimensionering med en önskvärd konstant pilhöjd A gäller härmed för distributionen av stegprofilerna 52 utmed längdutsträckningen av växlarpaketet följande relation : $CxCxP = \text{konstant}$.

Växlarpaketen 6 utföres av praktiska skäl med en längdutsträckning begränsad i storleksordning till ca 3m och en önskvärd växlarbana om ca 6m erhålles med seriekoppling av två paket.

För ökad förståelse beskrives anordningen vidare i referens till ett dimensioneringsexempel enligt figurer 10 och 11. Två seriekopplade växlarpaket 6 har vardera dimension $LxBxH = 3 \times 0.6 \times 1.2$ m rymmande 25 element 2. Total växlaryta 21 = 175 kvm. Mediet 3 drives med en mellan paketen inkopplad sugande/tryckande axialfläkt 9 och gasflödet 1 i form av 7500 kbm/h utluft suget genom paketen med hastighet 6m/s via en

radialfläkt 8. Tryckfall visas i figur 11 och illustrerar en förmånligt sänkt tryckbelastning P i anordningen. Växlarpaketen är staplade på ett lutande underlag 7, täckta med en takplatta 61, frånsett in- och utlopp 41 för luftflödet 1 avtäckta med en duk 62 och med nämnt gasutrymme 63 anslutet till radialfläkten 8. Ur mediet kondenserad ånga 35 avrinner ur nedre tubmynningar 29.

Driftexempel 5. Värmeväxlare till virkestorkar. Mediet 3 utgör utblås om 1500 kbm/h av våtluft från en kammartork av temperatur $+65^{\circ}$ och RH= 80%. Entalpisänkningen i flödet motsvarar entalpihöjningen i luftflödet 1 tillfört som förvärmad torr tilluft till 5 st kammartorkar. Värmeöverföring över elementytan 21 sker via kondenserande ånga väsentligen lika effektivt som med fallfilm 31 i driftexempel 1 med luftflödet varmt från $+5^{\circ}$ till $+55^{\circ}$ upptagande 130 kw och med mediet 3 nedkylt till $+15^{\circ}$ /RH= 100%, utfällande kondensat om 150 kg/h. Kostnad för fläktdrift, 3kw, och apparatur skattas till ca 4 öre per återvunnen kwh, vilket gör anordningen ytterst lönsam. Våtluften 3 är korrosiv och angriper konventionella, kostbara värmeväxlare i metall. I anordningen kommer våtluften endast i kontakt med den kemiskt inerta polyesterfilmen 21".

Driftexempel 6. Ett tilluftflöde 1 till en byggnad om 7500 kbm/h värmeväxlas mot ett lika stort frånluftsflöde 3 mer eller mindre befuktat.. Flödena drives med lufthastighet i storleksordning 6 m/s , med ett värmeöverföringstal om 40-50 w/ kvm,h $^{\circ}$ beroende av ångkondensering och med motsvarande temperaturverkningsgrad = 0.70-0.75. Jämfört med driftexempel 4 och med likartad drift halveras väsentligen apparatkostnad medan elkostnad för fläktdrift kvarstår. Speciellt gynnsam är anordningen för frånluftsflöden 3, som är fuktiga, dammiga eller korrosiva eftersom kontaktyta 21" är slät, kemiskt inert och väl ägnad för renspolning vid en avstängning genom att tuberna faller platt ihop och tubmynningarna 29 är lätt tillgängliga.