

Beställt av
Vinnova

Utfört av
Stefan Heyne
Pontus Bokinge

Datum
2021-05-03

Version
Slutrapport – offentlig version



Rapssåddi – Process integration

Koordineringsaktivitet inom BioEk 2.0

Sammanfattning

Inom ramen för innovationsprojektet *BioEkonomi 2.0 – Bättre valorisering av restströmmar* (BioEk 2.0) har ett antal koordineringsaktiviteter genomförts som syftade till ökad utbyte och samarbete mellan delprojekten samt inspel från kompetensområden utanför själva delprojekten. Delprojekten kunde välja vilka av koordineringsaktiviteter som de skulle delta inom ramen för BioEk2.0. Nuvarande rapport sammanfattar resultaten av koordineringsaktiviteten *Processintegration* gentemot delprojektet *Rapssåddi – Uppbearbetning av rapsfrökaka till klimatsmarta proteiner och råvara till nya biobaserade produkter*.

Innehåll

Sammanfattning	2
Innehåll	3
1 Bakgrund/Inledning	4
2 Processbeskrivning	5
3 Energianalys	6
4 Resultat och diskussion	7
Referenser	13

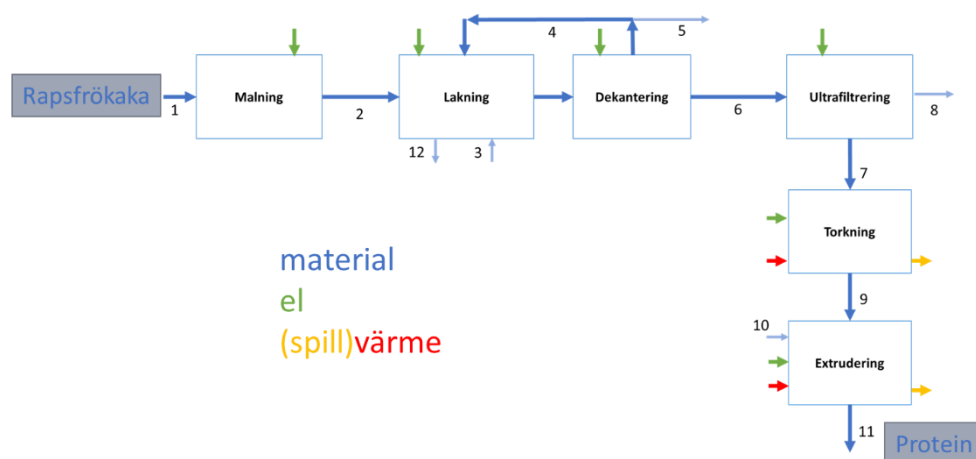
1 Bakgrund/Inledning

Inom projektet *Rapssåddi – Uppbearbetning av rapsfrökaka till klimatsmarta proteiner och råvara till nya biobaserade produkter* utvecklas processmetoder för att utvinna och omhänderta rapsprotein samt resterande fett, mineraler och andra ämnen från rapsfrökaka. Proteinenet kommer att användas för humankonsumtion och resterande delar kommer att användas som substrat till probiotiska bakterier (prebiotika), som kompositmaterial i byggnadssektorn samt som biologiskt bekämpningsmedel mot växtangrepp.

Inom ramen för innovationsprogrammet *Bio Ek 2.0 – Bättre valorisering av restströmmar* har en insats gjorts åt projektet under koordineringsaktiviteten *Processintegration*. Baserad på processchema från *Rapssåddi* har energibalanser tagits fram för två olika processalternativ som är under utveckling inom projektet. Potentiella integrationsmöjligheter med andra processer, såsom till exempel export av värme, diskuteras på en kvalitativ nivå. En känslighetsanalys för processens energibehov vid variation av viktiga processparametrar har genomförts. Dessutom har en Excelmodell tagits fram för att kunna undersöka möjliga processförändringar och deras påverkan på processens energibehov vid framtida processutveckling.

2 Processbeskrivning

Processkonceptet *Rapssåddi* för utvinning av en proteinrik livsmedelsprodukt från kallpressade rapskakor illustreras i Figur 1 nedan.



Figur 1: Principskiss över Rapssåddis produktionskoncept.

3 Energianalys

I denna rapport bestäms processens behov av el och värme för olika processkonfigurationer och värden på (för energianvändningen) kritiska processparametrar. Specifikt undersöks konfigurationer med eller utan omlakning av del av den tunga fasen från dekanteringen, och effekten av att variera mängden vatten som avskiljs genom ultrafiltrering respektive spraytorkning.

Elbehoven för de ingående processtegen har uppskattats med hjälp av schablonvärden ur relevant litteratur och listas i Tabell 1 nedan. I Tabell 1 presenteras också processens elbehov med och utan omlakning. I fallet med omlakning ges värden för ett fall där 80 % av inkommande vatten till UF avlägsnas, och för fallet utan omlakning är motsvarande siffra 75 %. Detta innebär att de bägge fallen stämmer överens med data i Figur 1.

Tabell 1: Uppskattade elbehov för Rapsåddi-processens olika processteg.

Processteg	Antaget elbehov	Elbehov med omlakning (kJ/kg produkt)	Elbehov utan omlakning (kJ/kg produkt)	Referens
Malning	5.4 kJ/kg feed	10.4	12.5	Saravacos (2016)
Lakning	1.5 kJ/m ³ tank	262.0	124.7	Hall (2018)
Dekantering	3.6 kJ/l lätt fas	137.0	59.4	Hermeler (2013)
Ultrafiltrering	9 kJ/l permeat	269.4	107.2	Saravacos (2016)
Spraytorkning	333 kJ/kg vatten	2562.3	1342.0	Baker (2005)
Extrudering	216 kJ/kg produkt	216.0	216.0	Saravacos (2016)
Summa		3457.0	1861.7	

¹ Tankvolymen uppskattas ur uppehållstid (3600 s) och volymsflöde

² Uppskattning som andel av värmebehov utan värmeåtervinning

De två processtegen *torkning* och *extrudering* kräver värmeförsel. I torken går värme åt för att värma torkluften och de data som använts för att bestämma värmebehovet anges i Tabell 2.

Tabell 2: Driftparametrar för spraytorken.

Parameter	Värde
Temperatur ingående luft	20 °C
Temperatur efter förvärmning	120 °C
Temperatur utgående luft	80 °C
Temperatur efter värmeåtervinning ¹	41.6 °C
Luftflöde (in)	60 m ³ /kg vatten

¹Värme återvinns från torkluften, som kyls från 80 till 41.6 °C och då värmer inkommande luft från 20 till 60 °C.

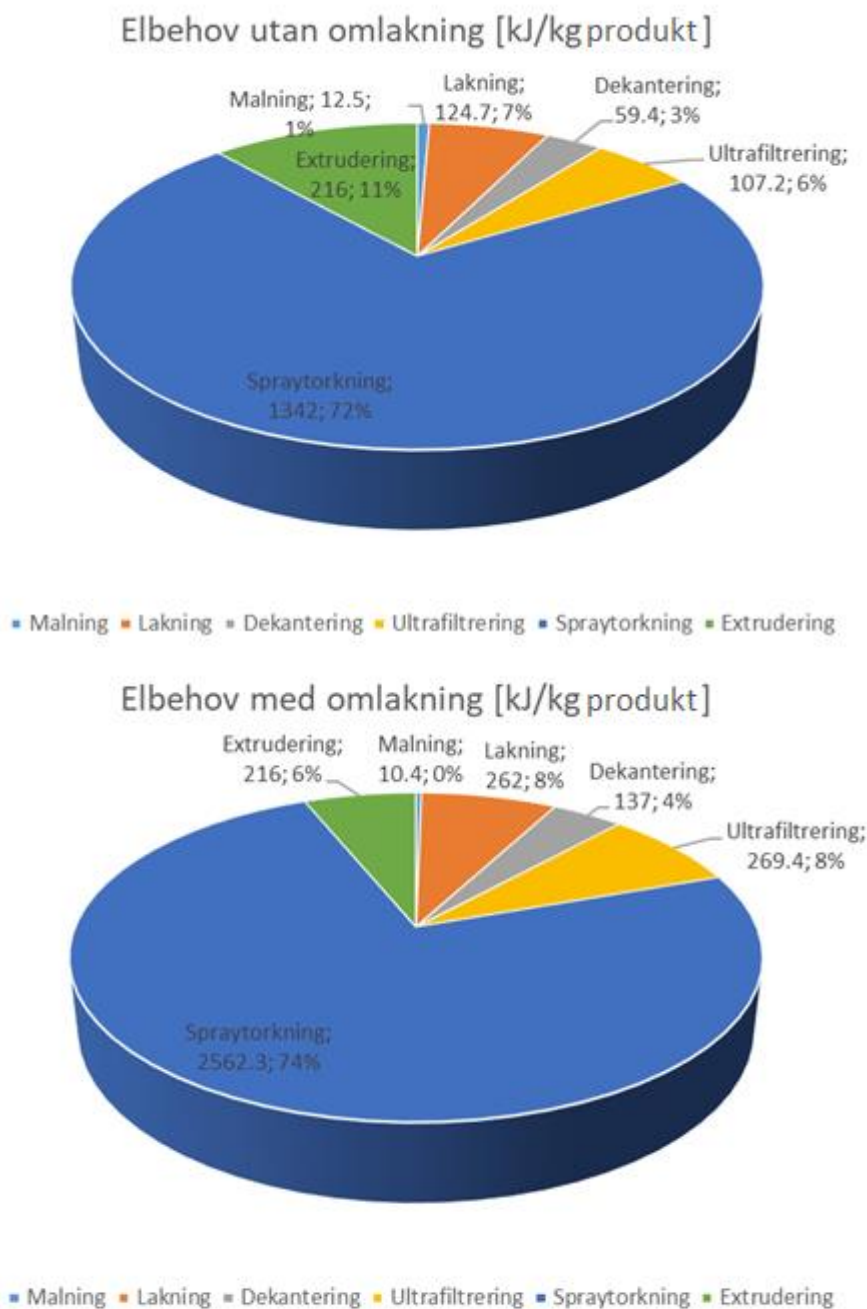
I extrudern värms produkten till temperaturer kring 140 °C. Större delen av uppvärmningen sker genom mekanisk friktion när materialflödet pressas genom extrudern, men värme måste också tillföras från externa källor. Mängden värme som måste tillföras har uppskattats genom en värmebalans över extrudern. Det har antagits att all el som tillförs extrudern värmer materialflödet och att elbehovet är 216 kJ/kg produkt (fuktig). Kvarstående värmemängd för uppvärmning till 140 °C har beräknats till 23 kJ/kg produkt under antagandet att försumbar smältning och förångning sker i extrudern – det vill säga att endast sensibelt värme måste tillföras.

Extrudermunstycket är vattenkylt och kyls till rumstemperatur. Kylbehovet har beräknats utifrån antagandet att materialflödet i munstycket kyls från 140 °C. Eftersom munstycket kyls till rumstemperatur antas förångningen av vatten till följd av tryckfall då produkten lämnar extrudern vara försumbart.

En modell har utvecklats i Excel för att kunna utvärdera framtida processutvecklingar eller förändringar av processparametrar med hänsyn till energiaspekterna. Excelfilen ingår som en del av leveransen för denna rapport

4 Resultat och diskussion

I Figur 2 redovisas elbehoven för processen i *kJ/kg produkt* baserad på indata i Tabell 1. Det blir tydligt att spraytorken dominerar elbehovet.



Figur 2: Fördelning av specifik elbehov för processtegen i processen utan (ovre figur) och med (nedre figur) omlakning.

De procesströmmar som behöver värmas eller kylas, eller erbjuder möjlighet för värmeåtervinning (torkluften) sammanfattas i Tabell 3 för processen med och utan omlakning. I fallet med omlakning ges värden för ett fall där 80 % av inkommande vatten till UF avlägsnas, och för fallet utan omlakning är motsvarande siffra 75 %. Detta innebär att de bägge fallen stämmer överens med data i Figur 1.

Tabell 3: Procesströmmar med värmebehov, kylbehov eller överskottsvärme. Negativa värden indikerar kylbehov eller överskottsvärme.

Procesström	T _{start} (°C)	T _{slut} (°C)	Värmemängd (kJ/kg produkt)	
			Med omlakning	Utan omlakning
Ingående torkluft	20	120	55 350	28 990
Utgående torkluft	80	40	-22 430	-11 750
Värmning, extruder	140	140.1	137	137
Kylning, extruder	140	20	-104	-104

En övergripande energibalans för de två processer finns sammanställd i Tabell 4. De blir tydligt att processen måste tillföras både värme och el. Men det finns även spillvärme att ta vara på i form av frånluften från torkprocessen. Temperaturnivån på värmnet är dock relativt lågt (se Tabell 3) och möjliga tillämpningar är förmodligen begränsade till lokaluppvärmning, eventuellt fjärrvärmeleverans eller andra lågtemperaturprocesser. Processintegrationsmöjligheter för processen är därmed begränsade.

Tabell 4: övergripande energibalans för processen med och utan omlakning.

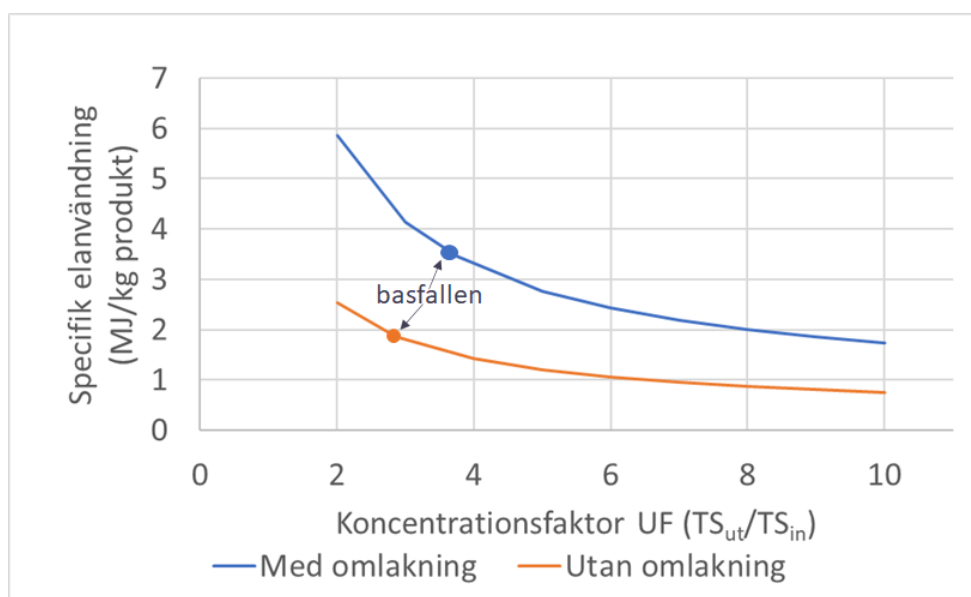
	Energimängd mängd (kJ/kg produkt)	
	Med omlakning	Utan omlakning
Elbehov	3 457	1862
Nettovärme	32 953	17 273
<i>Värmetillförsel</i>	55 487	29 127
<i>Spillvärme</i>	-22 534	-11 854

Från analysen framgår det att spraytorken är den dominerande användaren av både el och värme. Eftersom torkens energibehov beror av mängden borttorkat vatten – och att denna mängd blir mindre ju mer vatten som avlägsnas i ultrafiltreringen – har en känslighetsanalys utförts där mängden avlägsnat vatten i ultrafiltreringen varierats. Resultaten presenteras i Figur 3 för elanvändning och i Figur 4 för värmebehov. För värmebehovet har det antagits att värme återvinns från utgående till ingående torkluft.

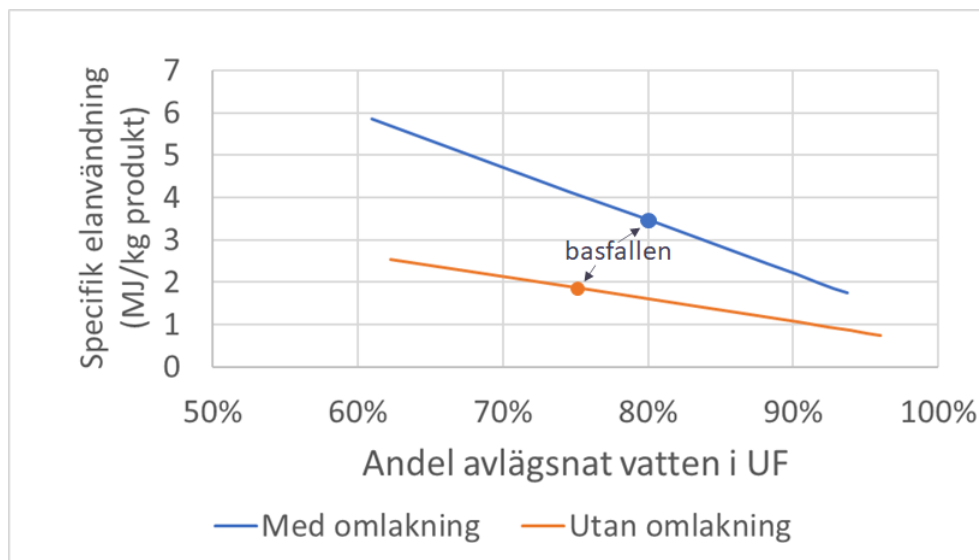
I Figur 3 och Figur 5 anges energibehoven som funktion av koncentrationsfaktorn i ultrafiltreringen – dvs kvoten TS_{ut}/TS_{in} – och utgående torrhalt kan alltså beräknas ur koncentrationsfaktorn och ingående torrhalt som ges i Figur 1. Figur 4 och Figur

6 anges energibehoven istället som funktion av hur stor andel av inkommande vatten som avlägsnas i ultrafiltreringen. För basfallen (som ges i Figur 1) är koncentrationsfaktorerna 3.75 och 2.87, och andelen avlägsnat vatten 80 och 75 %, för processen med respektive utan omlakning.

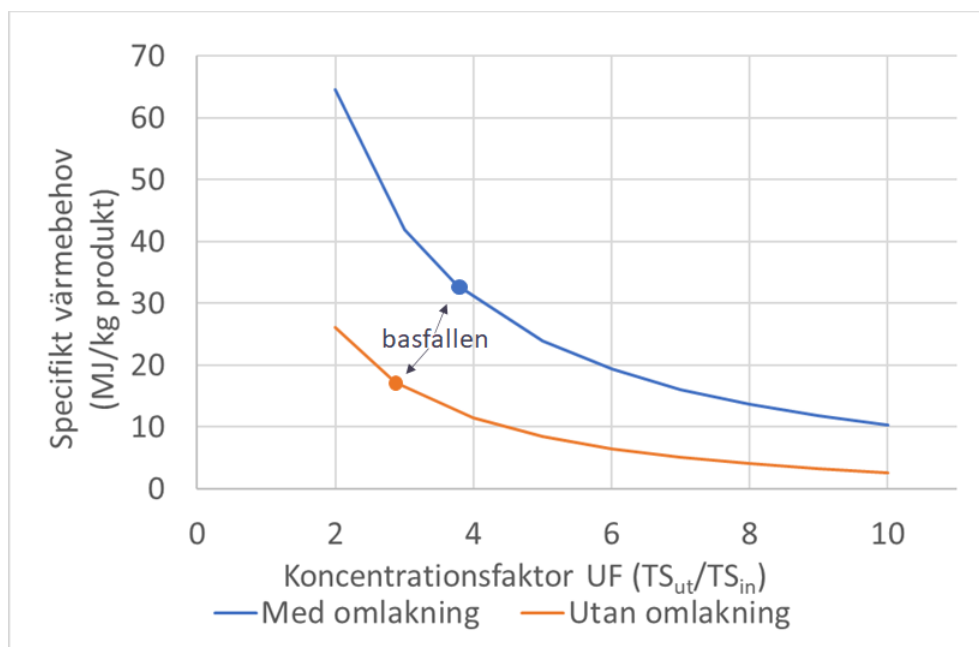
Det framgår att energianvändningen (både el och värme) är kraftigt beroende av mängden vatten som avlägsnas i ultrafiltreringen, och att energibehoven är betydligt högre för processen med omlakning, detta på grund av de högre vattenflödena. För att fallet med omlakning ska nå samma energianvändning som basfallet utan omlakning krävs att ca 90 % av inkommande vatten avlägsnas i ultrafiltreringen, att jämföra med 75 % för fallet utan omlakning. Motsvarande koncentrationsfaktor är ungefär 7, att jämföra med 2.87 för basfallet utan omlakning.



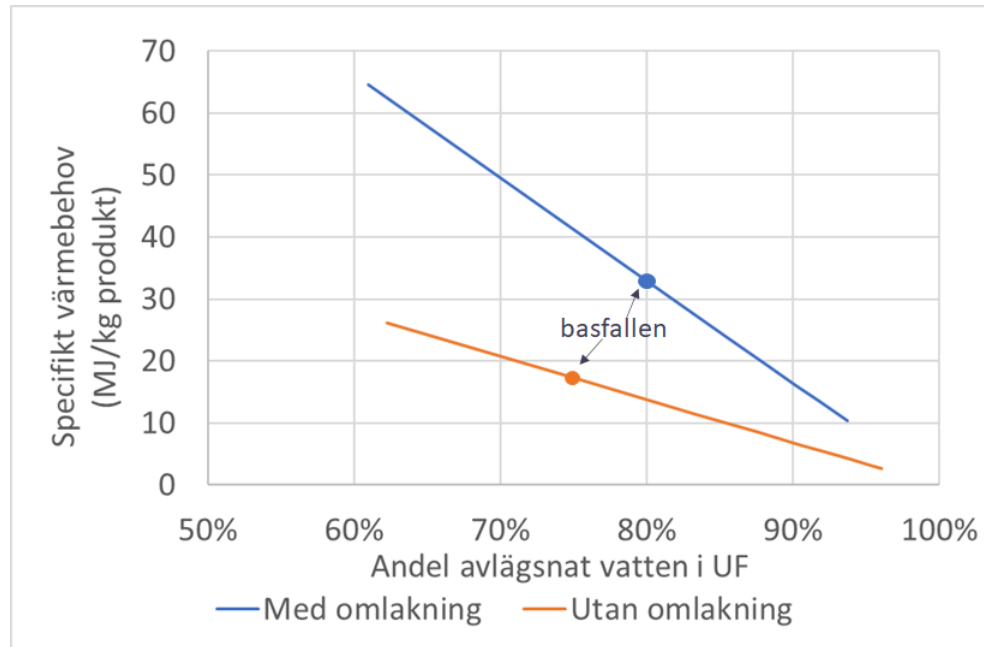
Figur 3: Specifik elanvändning som funktion av ultrafiltreringens koncentrationsfaktor



Figur 4: Specifik elanvändning som funktion av andelen av inkommande vatten som avlägsnas i ultrafiltreringen.



Figur 5: Specifikt värmebehov som funktion av ultrafiltreringens koncentrationsfaktor.



Figur 6: Specifikt värmebehov som funktion av andelen av inkommande vatten som avlägsnas i ultrafiltreringen.

Referenser

Baker, C.G.J och McKenzie, K.A. (2005). *Energy Consumption of Industrial Spray Dryers*. *Drying Technology*, 23 (1-2).

Hall, S.M. (2018). *Rules of Thumbs for Chemical Engineers*, 6th ed.

Mermeler, J., Horstkötter, T. och Hartmann, T. (2013). *New decanter generation with improved energy efficiency*. F&S International, 13

Saravacos, G. och Kostaropoulos, A.E. (2016). *Handbook of Food Processing Equipment*, 2nd ed.