

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Energetická bilance sušáren zrnin

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Fríd, CSc.

Autor:

Jan Kubeš

České Budějovice, 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KUBEŠ**

Osobní číslo: **Z13091**

Studijní program: **B4131 Zemědělství**

Studijní obor: **Zemědělská technika: obchod, servis a služby**

Název tématu: **Energetická bilance sušáren zrnin**

Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíl práce:

Cílem práce je změřit a zpracovat získané údaje o práci zvolené sušárny zrnin v provozních podmínkách a stanovit energetickou náročnost procesu sušení.

V práci se zaměřit na :

1. Proces sušení a základní požadavky na kvalitu výstupních produktů.
2. Přehled používaných sušáren, jejich vlastnosti a technické parametry.
3. Metodika stanovení energetické náročnosti procesu sušení se zaměřením na spotřebu energie pro vlastní sušení i na energie na provoz sušárny- dopravní cesty.
4. Provedení vlastního měření na konkrétní sušárně.
5. Vyhodnocení získaných údajů a jejich porovnání s normativy a údaji výrobce.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40 - 50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Neubauer, K. a kol. : Stroje pro rostlinnou výrobu. Státní zemědělské nakladatelství, 1989. ISBN 80-209-0075-6.

Procházka, B. a kol.: Mechanizácia rastlinnej výroby. Príroda, 1986. ISBN 64-011-86.

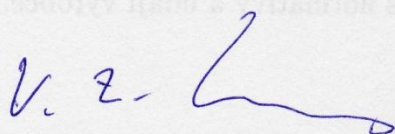
Dvořák, J.: Skladování a ošetření zrnin. VÚZT Praha, 2002. ISBN 80-238-9953-8.

Firemní informace výrobců sušáren.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Fríd, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

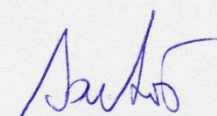
Datum zadání bakalářské práce: **6. února 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2017**



prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA ©
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení L.S.
Studentůvká 1668, 370 05 České Budějovice



doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 24. února 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Energetická bilance sušáren zrnin**“ zpracovával samostatně, na základě vlastních poznatků, zjištění a materiálů, které uvádím v seznamu použité literatury.

Dále prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998, o vysokých školách, v plném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněné posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Dyníně, 21. dubna 2016

.....
Jan Kubeš

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Milanu Frídovi, CSc., za odbornou a důslednou pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval generálnímu řediteli, odchodnímu řediteli, servisnímu technikovi a silomistrům, za poskytnutí informací a přístup k datům, které byly taktéž důležité pro mou práci.

Abstrakt

Tato práce se zabývá energetickou bilancí sušárny zrnin.

Teoretická část obsahuje seznámení s typy sušících zařízení a zařízeními na dopravu zrnin. Dále jsem se zabýval sušárnou zrnin od firmy Bühler a její konstrukcí a spotřebou energie při sušení zrnin.

Klíčová slova:

Energie, sušárna, zemní plyn, elektrická energie.

Abstract

This thesis deals with the energy balance of grain drying.

The theoretical part includes information about types of drying equipment and grain transportation devices. Then I handled with a grain dryer from „Bühler“, its construction and power consumption during grain drying.

Key words:

Energy, a grain dryer, gas, electricity

Obsah

1	Úvod	8
2	Literární přehled	10
2.1	Teoretický rozbor procesu sušení	10
2.1.1	Diagram $i - x$	10
2.2	Mechanizace sušení	11
2.2.1	Sušení neupraveným vzduchem (přírozené)	12
2.2.2	Sušení upraveným sušícím prostředím	12
2.3	Stroje a zařízení pro sušení	12
2.3.1	Ventilační sušení	13
2.3.2	Větrací podlahy	14
2.3.3	Větrací síla	14
2.3.4	Teplovzdušné sušení	16
2.4	Sušárny	17
2.4.1	Rozdělení sušáren	17
2.4.2	Ohřívače	19
2.4.3	Sušící a chladící zařízení	21
2.4.4	Šachtové sušící zařízení	22
2.4.5	Věžové sušící zařízení	23
2.4.6	Sušárny s občasným pohybem vrstvy materiálu nebo bez pohybu materiálu	24
2.4.7	Sušárny s dopravním zařízením pro plynulý pohyb materiálu	25
2.4.8	Sušárny s rotačním sušícím prostorem pro plynulý pohyb materiálu	26
2.4.9	Proudové sušárny	27
2.4.10	Fluidní sušárny	29
2.5	Mechanická doprava zrnin	30
2.5.1	Korečkové dopravníky	31
2.5.2	Redlery – řetězové dopravníky	31

2.5.3	Pásové dopravníky	32
2.5.4	Šnekové dopravníky	33
3	Cíl práce	35
4	Metodika práce	36
4.1	Použité vzorce	36
5	BÜHLER	39
5.1	Řídicí systém EcoIntelligence	39
5.2	Konstrukce sušárny	39
5.2.1	Prvky sušárny, radiální	40
5.2.2	Prvky sušárny, axiální	41
5.3	Sušení 2015	42
5.4	Sušení 2016	42
5.5	Spotřeba energií na sušení	44
5.6	Spotřeba energie na dopravní cesty	44
6	Diskuse	46
7	Závěr	47
8	Seznam použité literatury	48
9	Seznam obrázků	49
10	Seznam tabulek	51

1 Úvod

Sušení je nejstarší způsob dlouhodobé konzervace rostlinných materiálů. Podíl vlhkosti se v nich sušením sníží na úroveň, kdy se v úsušku zastavují biologické pochody. Kvalitativní ztráty při sušení jsou tím nižší, čím rychleji se materiál usuší. Úsušky lze skladovat neomezeně dlouho s minimálními skladovacími ztrátami.

Sušení je tepelný proces. Teplo potřebné k uvolnění vody z rostlinných pletiv se předává sušenému materiálu zpravidla prostřednictvím plynného sušícího prostředí (konvekce). Voda se převede do stavu nenasycené páry, která se pohlcuje a odvádí sušícím prostředím (PROCHÁZKA a kol., 1986).

Vlhkost dlouhodobě uskladňovaného osiva (déle než jeden rok) je 11 až 12 %. Vlhkost u dlouhodobě uskladněného zrna je do 14 %, u běžného skladování (do jednoho roku) je vlhkost od 14 % do 15 % a u krátkodobého skladování při intenzivním provzdušňování je vlhkost od 15,5 % do 17 %. U dlouhodobého skladování řepky olejné je vlhkost do 7 %, při běžném skladování je od 7 % do 8 % a při krátkodobém skladování s intenzivním provzdušňováním je od 8 % do 9 % (MALEŘ, 1996).

U úsušků vojtěšky je optimální vlhkost 10 až 12 % (pro zachování betakarotenu).

Sušárenství umožňuje vytvářet státní rezervy, protože správně vysušené produkty lze skladovat i několik let.

Sušení krmných plodin, zejména v souvislosti s novými technologiemi sklizně a zkrmování těchto plodin, značně zvyšuje produktivitu práce a rentabilitu živočišné výroby.

Při správném technologickém postupu sušení můžeme též zlepšit kvalitu sušených produktů, například klíčivost obilovin, kvalitu pšeničného lepku, a zejména u produktů určených ke krmení můžeme sušením dosáhnout podstatně vyšší krmné hodnoty v porovnání s krmivými získanými běžným způsobem sklizně, při které dochází nejen k větším ztrátám, ale často i ke značnému snížení krmné hodnoty.

Vzhledem k velkému významu sušárenství a značné energetické náročnosti při sušení bude nutné efektivně rozšiřovat různé způsoby sušení (více využívat netradiční formy energie) rostlinných produktů, protože takový postup přináší celou řadu ekonomických výhod při současném zvýšení kvality získaného produktu (NEUBAUER a kol., 1989).

2 Literární přehled

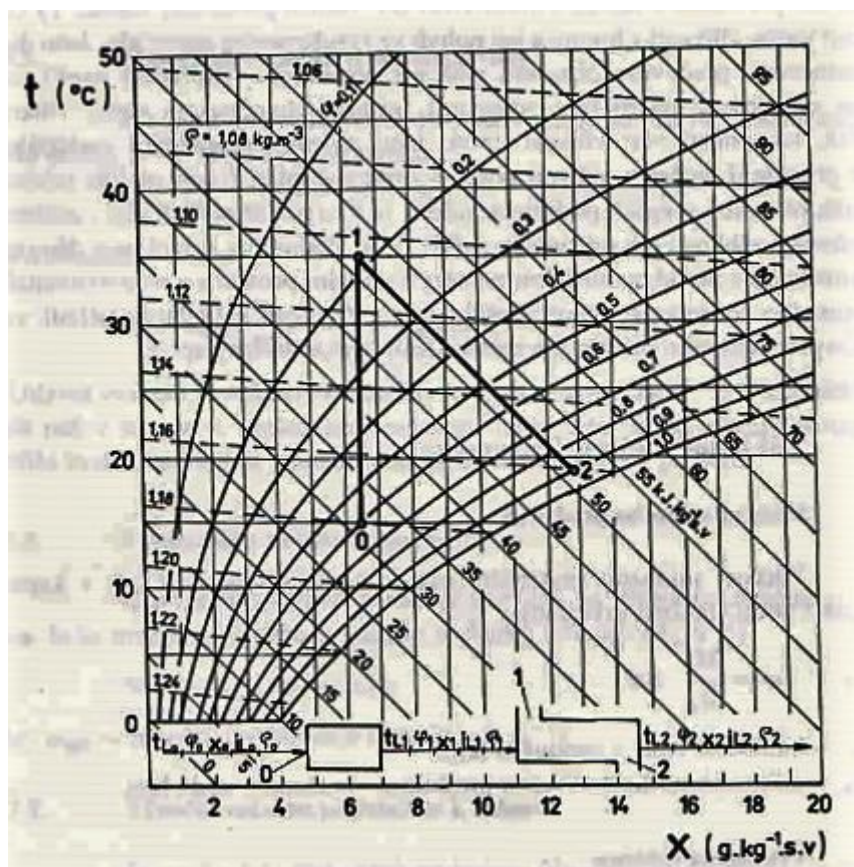
2.1 Teoretický rozbor procesu sušení

Proces sušení je velmi složitý. Dochází k ohřevu materiálu sušícím prostředím k difúzi vody z vnitřních částí sušeného materiálu k povrchu, k jejímu odpařování z povrchu apod., což je ještě komplikováno charakterem materiálu přicházejícího k sušení (pórovitý, biologický apod.). Současně probíhá v sušeném materiálu celá řada fyzikálních a fyziologických procesů, které mají velký vliv na biologické, technologické, popřípadě nutriční vlastnosti výrobku (NEUBAUER a kol., 1989).

2.1.1 Diagram $i - x$

Diagram $i - x$ (Obrázek 1) umožňuje rychlé řešení změn stavu. Na vodorovné stupnici diagramu je zanesena vlhkost (x), na vertikální stupnici teploty vzduchu (t). Úhlopříčně probíhají diagramem přímky entalpie (i). V diagramu jsou umístěny křivky relativní vlhkosti φ . Křivka $\varphi = 1$ je křivka nasycenosti. Nad křivkou nasycenosti je oblast nenasyceného vzduchu.

Při užitečném barometrickém tlaku je vlhký vzduch určen dvěma ze čtyř veličin zakreslených v diagramu (t , φ , i , x). Při praktických sušárenských výpočtech známe zpravidla dvě z těchto veličin – teplotu a relativní vlhkost, které lze dobře měřit. Najdeme-li v diagramu průsečík přímky (t) a křivky (φ), můžeme odečíst zbývající dvě veličiny (Obrázek 1) (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 1 – Molliérův $i - x$ diagram – určení měrné spotřeby tepla a sušícího prostředí: O – stav vzduchu před vstupem do ohříváče, 1 – stav sušícího prostředí na vstupu do sušícího prostoru, 2 – stav sušícího prostředí na výstupu ze sušícího prostoru.

2.2 Mechanizace sušení

Sušení zemědělských produktů můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin:

- a) sušení neupraveným vzduchem:
 - přirozeným prouděním (přehazováním),
 - aktivním provzdušňováním;
- b) sušení upravením sušícím prostředím:
 - ohřátým vzduchem,
 - směsí zplodin hoření a vzduchu (NEUBAUER a kol., 1989).

2.2.1 Sušení neupraveným vzduchem (přirozené)

Využívá výhradně sušící kapacitu atmosférického vzduchu, která závisí na jeho teplotě a vlhkosti. Je proto závislé na okamžiku a měnících se atmosférických podmínkách. Je poměrně zdlouhavé a proto spojené s rizikem ztrát. Energeticky je málo náročné. Dále je možno rozlišit:

a) Sušení v tenké rozestřené vrstvě

Teplu se přivádí slunečním zářením a stykem s teplým atmosférickým vzduchem. Vrstva se čas od času uvádí do pohybu (obracení píce, přehazování zrna). Tento způsob se používá hlavně při sušení lučních porostů.

b) Sušení aktivním větráním (ventilací)

Vzduch proudí pod tlakem nehybnou vrstvou sušeného materiálu, do něhož přivádí veškerou potřebnou tepelnou energii. Aktivním větráním se suší hlavně jeteloviny a zrniny k seřovým účelům (PROCHÁZKA a kol., 1986).

2.2.2 Sušení upraveným sušícím prostředím

Jde o prostředí s uměle upravenou sušící kapacitou. Odstraňuje závislost na atmosférických podmínkách. Sušení se urychluje a minimalizují se ztráty. Spotřeba energie je značná. Podle způsobu úpravy sušícího prostředí se rozlišuje:

a) teplovzdušné sušení – používá se u zrnin, chmele, léčivých rostlin apod.,

b) sušení spaliny (směsí spalin a vzduchu) – používá se u píce.

V našem zemědělství se takto suší hlavně pícniny (asi 0,5 až 0,7 mil. tun úsušků), zrniny (asi 1,5 až 7,5 mil. tun) a chmel (asi 7000 až 10000 tun) (PROCHÁZKA a kol., 1986).

2.3 Stroje a zařízení pro sušení

Sušárny jsou hlavní součástí posklizňových linek a používají se nejen v zemědělství, ale i v jiných odvětvích národního hospodářství. Sušení je rozšířeno

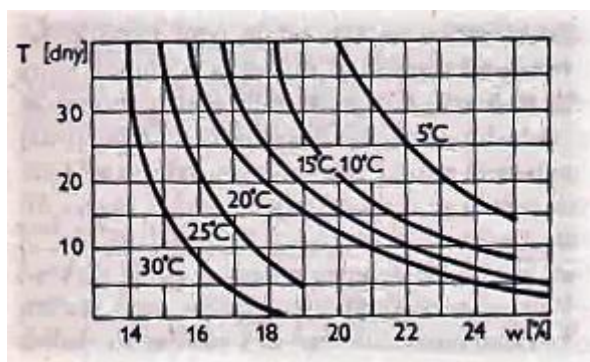
v průmyslu potravinářském, textilním, chemickém. Vzhledem ke značně rozdílným vlastnostem materiálů určených k sušení bylo nutné vyvinout i konstrukčně rozdílné sušárny (NEUBAUER a kol., 1989).

2.3.1 Ventilační sušení

Při ventilačním sušení prochází sušící prostředí, studený nebo mírně ohřátý vzduch, pod tlakem nehybnou vrstvou sušeného materiálu. Vstupní přetlak vzduchu dodávaného do vrstvy ventilátorem musí překonat aerodynamický odpor vrstvy, který závisí na její výšce, mezerovitosti a povrchových vlastnostech částic.

Sklizňový vlhkostní podíl u semene se pohybuje v rozmezí 16 až 23 %, u kukuřice až 30 %. Čím je vyšší, tím intenzivnější je dýchání semen ve vrstvě. Množství uvolněného tepla závisí na stupni provzdušnění vrstvy. Za anaerobních podmínek se uvolní dvakrát více tepla než za podmínek aerobních. Aktivní ventilace semen má v první fázi účinek konzervační. Umožňuje dočasné uskladnění a udržení kvality semen, která nelze bezprostředně po sklizni zpracovat a usušit na horkovzdušných sušárnách. Sušení aktivní ventilací je vhodné zejména u seťového materiálu, neboť vylučuje možnost poškození klíčivosti vlivem přehřátí.

Velmi účinnou metodou krátkodobé konzervace semen je aktivní větrání ochlazeným vzduchem. Průchodem chladícím strojem se venkovní vzduch ochladí na teplotu 5 až 10 °C. Takto ochlazený vzduch snižuje teplotu vrstvy semene a odvádí z ní teplo vzniklé dýcháním. Intenzita dýchání ochlazením klesá a omezuje se možnost rozvoje nežádoucí mikroflóry. Skladovatelnost semene se prodlužuje úměrně hloubce ochlazení (Obrázek 2) (PROCHÁZKA a kol., 1986).



Obrázek 2 – Skladovatelnost obilí ve větrané vrstvě při různých vlhkostních podílech a teplotách vrstvy.

2.3.2 Větrací podlahy

Jsou instalovány v podlahových sýpkách nebo halových skladech. Rozvod vzduchu je spodní a je řešen soustavou nadúrovňových perforovaných kanálů (sýpky), nebo podúrovňovými kanály s perforovanými kryty v úrovni podlahy (průjezdné halové sklady). Druhé řešení je výhodnější z hlediska naskladňování zrna a manipulace s ním. Rozváděcí kanály ústí do rozváděcí komory, na kterou je napojen jeden nebo i více ventilátorů. Při výšce vrstvy větší než 1 metr se používají zpravidla radiální odstředivé ventilátory.

System ventilace je buď tlačný nebo odsávací. V prvním případě proudí vzduch vrstvou zdola nahoru, ve druhém shora dolů. Výhodnější je tlačný systém, neboť umožňuje předehtřívání vzduchu. Vzduch k větrání se odebírá z prostoru mimo sýpku. Nesmí být zpětně nasáván výstupní ovhčený vzduch. Sklad musí mít dostatečné odvětrávací otvory. Měrná spotřeba vzduchu je 300 až 400 m³*h⁻¹ na 1 m³objemu vrstvy. Celkový tlak ventilátoru závisí obdobně jako u píce na odporu a výšce vrstvy. Průchozí rychlost vzduchu je 0,06 až 0,2 m*s⁻¹.

Sušení neupraveným vzduchem trvá 4 až 8 dní při poklesu podílu vlhkosti o 0,5 % za 24 hodin (PROCHÁZKA a kol., 1986).

2.3.3 Větrací sila

Jsou to válcové stavby buď nekryté a umístěné v lehké hale nebo kryté, situované volně v terénu. Jsou zpravidla součástí střediska pro posklizňovou úpravu

semen, kde tvoří jeho skladovací prostory. Podle použitého rozvodu vzduchu se rozlišují:

a) Sila se svislým prouděním větracího vzduchu

Jsou to stavby kruhového nebo mnohoúhelníkového půdorysu sdružené zpravidla do skupin. Průměr jednotky je 3 až 6 m, výška 6 až 15 m, objem 50 až 400 m³. Plný obvodový plášť je buď betonový, kovový nebo z plastické fólie vyplňující kostru z drátěného pletiva. Silo se plní shora a vyprazdňuje se spodem zpravidla šnekovým dopravníkem. Dno sila tvoří masivní kovový větrací rošt, pod kterým se vhání ventilátorem vzduch otvorem v obvodovém plášti sila. Ventilátor je zpravidla odstředivý. Jeho provozní ukazatele musí odpovídat výšce a charakteru násypu. Je buď zabudovaný nebo se k silu při větrání přistavuje. Měrná spotřeba vzduchu při větrání je asi 120 m³*h⁻¹ na 1 m³ násypu, při sušení asi 300 m³*h⁻¹ na 1 m³ násypu.

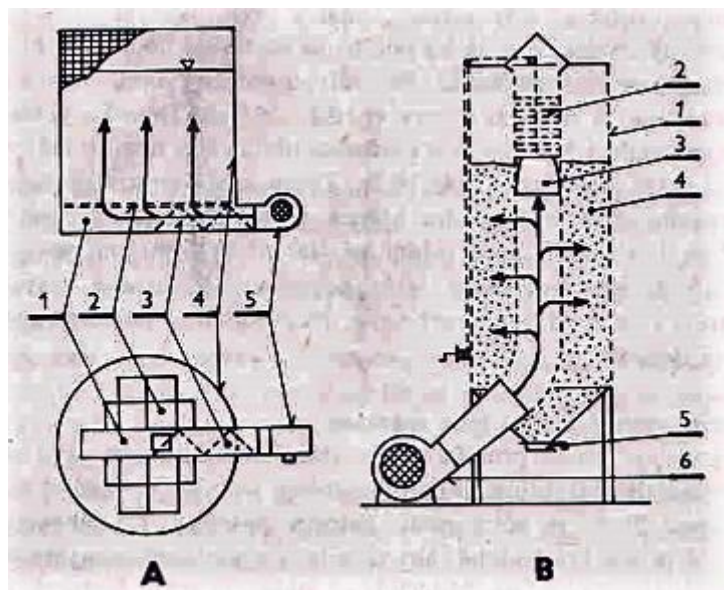
Sila tohoto typu jsou stavebně poměrně jednoduchá s relativně nízkými pořizovacími náklady.

b) Sila s radiálním prouděním větracího vzduchu

Mají zpravidla tvar válce o průměru 3 až 4 m a výšce 5 až 10 m; vejde se do nich 10 až 50 tun. Jejich vnější plášť je zpravidla z perforovaného plechu, který vyplňuje svařovanou ocelovou kostru. Ve spodní části je kuželovité dno s vyprazdňovacím otvorem ve středu; silo se vyprazdňuje samospádem. Je umístěno zpravidla na podpěrách nad úrovní podlahy.

Středem sila prochází svislý větrací kanál s perforovanými stěnami. Uvnitř kanálu je posuvný těsnící zvon, jehož poloha se nastavuje do úrovně hladiny zrna v silu. Lze větrat i ne zcela naplněné silo. Větrací vzduch proudí vrstvou od středu k obvodu (radiálně) a odchází otvory vnějšího pláště. Tloušťka větrací vrstvy nepřesahuje zpravidla 1,5 m. Světlost perforace obou válců není stejná.

Výhodou těchto sil je relativně nízký odpor vrstvy, snadné vyprazdňování, možnost větrání i ne zcela naplněného sila. Nevýhodou je poměrně malý objem a konstrukční složitost (PROCHÁZKA a kol., 1986).



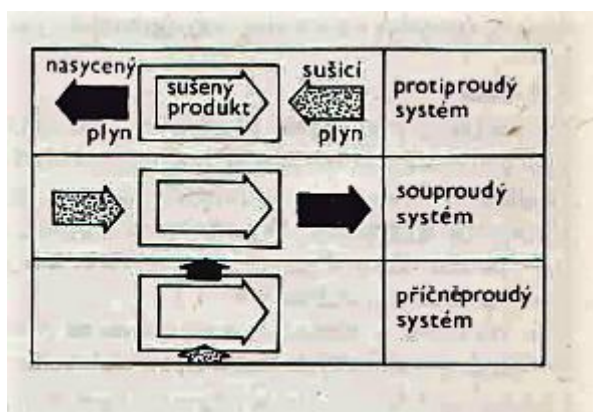
Obrázek 3 – Větrací sila: A – silo se svislým prouděním větracího vzduchu; 1 – přívodní kanál, 2 – rošt, 3 – vyprazdňovací šnek, 4 – obvodový plášť, 5 – ventilátor; B – silo s radiálním prouděním větracího vzduchu; 1 – obvodový plášť, 2 – větrací kanál, 3 – těsnící zvon, 4 – násyp semene, 5 – výpust', 6 – ventilátor.

2.3.4 Teplovzdušné sušení

Podle směru pohybu sušícího prostředí vzhledem k vysoušenému materiálu můžeme sušárny rozdělit takto (Obrázek 4):

- a) sušárny souproude – sušící prostředí proudí ve směru pohybu vysoušeného materiálu. Přitom přichází do styku s relativně chladným materiálem. Dochází k rychlé výměně tepla, rychlému ohřívání a vysychání materiálu a k nasycování sušícího média až do hygroskopické rovnováhy. Proto je možné používat relativně vysoké teploty sušícího prostředí.
- b) sušárny protiproude – sušící prostředí proudí proti směru pohybu sušeného materiálu. Na začátku průchodu sušičkou přichází do styku s materiálem už ohřátým, při výstupu s materiálem relativně chladným. Proto jsou vstupní teploty sušícího prostředí relativně nižší (u zrna 80 až 120 °C) a na výstupní straně sušícího prostředí se vyskytují kondenzační jevy.
- c) sušárny s příčným prouděním (křížoproude) – sušící prostředí prochází napříč pohybu vysoušeného materiálu. Vrstvy bližší ke zdroji nenasyceného sušícího prostředí vysychají rychleji, vysoušený materiál je třeba přemísťovat. Sušící zařízení je možno členit na několik sušících zón

s různými teplotami sušícího prostředí přizpůsobenými vlhkostmi vysoušeného materiálu (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 4 – Rozdělení sušáren podle pohybu sušícího média a sušené hmoty.

2.4 Sušárny

Jsou konstruovány zpravidla na určitý druh sušeného materiálu (sušárny jednoúčelové), nebo jsou po úpravě použitelné na různé materiály (sušárny víceúčelové). Sušárna se skládá ze tří základních součástí: ohřivače, sušícího zařízení a chladícího zařízení. Je hlavním strojem sušárenské linky, do níž patří vstupní plnicí zařízení a zařízení pro úpravu a expedici úsušků (PROCHÁZKA a kol., 1986).

2.4.1 Rozdělení sušáren

Sušící zařízení rozdělujeme na:

- a) sušárny atmosférické,
- b) sušárny vakuové.

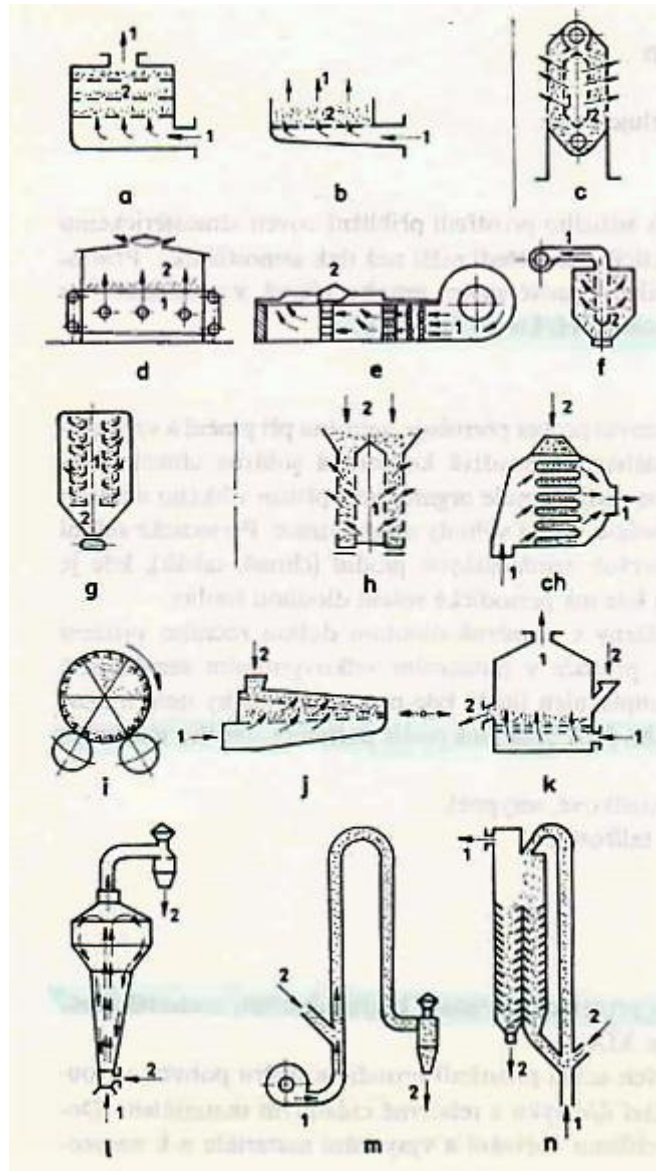
Přesto že má u určitých druhů materiálů vakuové sušení mnoho výhod, v zemědělství se používají výhradně sušárny atmosférické, které dělíme na:

- a) sušárny periodické,
- b) sušárny kontinuální.

U periodických sušáren se pracovní proces přerušuje, zejména při plnění a vyprazdňování sušené hmoty. V zemědělství se využívá komorová sušárna chmele. Nevýhodou této technologie je, že se nedá plynule organizovat přísun vlhkého a odsun suchého materiálu, takže se nemohou využít výhody mechanizace.

Velkovýrobní zemědělské sušárny s poměrně dlouhou dobou ročního využití jsou vždy sušárny kontinuální, protože v moderním velkovýrobním zemědělství jsou v podstatě jen součástí komplexních linek, kde provoz prakticky není možné přerušit. Kontinuální sušárny (Obrázek 5) dělíme podle pohybu sušeného materiálu v sušícím prostředí na:

- a) posuvné (pásové, roštové, vozíkové, sesypné),
- b) rotační (bubnové, válcové, talířové),
- c) proudové,
- d) rozprašovací,
- e) fluidní,
- f) kontaktní (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 5 – Schéma sušáren: a – rošťová; b – žlabová; c – sesypná; d – pásová; e – se sušící plošinou; f – komorová; g, h, ch – šachtová, s vestavbou (g, ch), bez vestavby (h); i – bubnová; j – vibrační; k – fluidní; l – se sušením ve vznosu; m – proudová; n – proudová recirkulační; 1 – sušící prostředí; 2 – vysušený materiál.

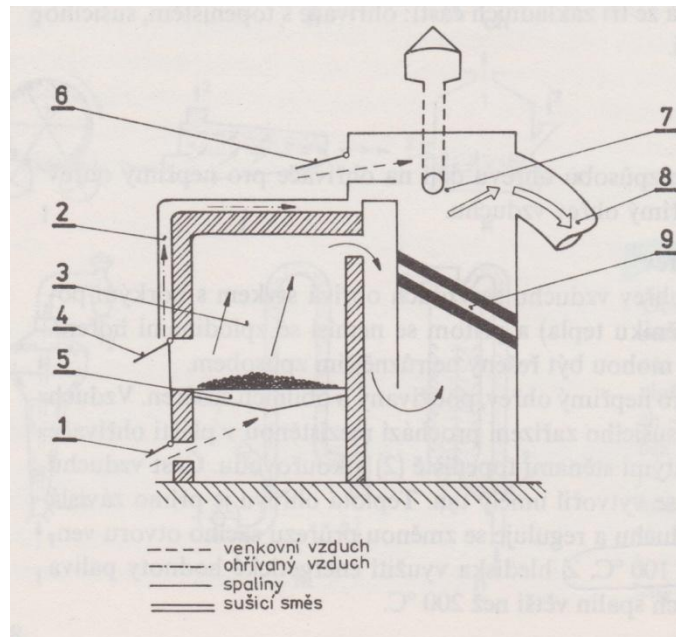
2.4.2 Ohřivače

Produkují sušící prostředí buď na principu přímého nebo nepřímého ohřevu.

a) Ohřivače pro přímý ohřev (Obrázek 6)

Mají spalovací komoru z ohnivzdorného materiálu, do níž tryská plamen olejového nebo plynového hořáku. Vzniklé spaliny se mísí s venkovním vzduchem, jehož podíl reguluje teplotu sušící směsi. Ohřivače pro přímý ohřev se používají u sušáren píce. Teplotu směsi lze regulovat v rozsahu 300

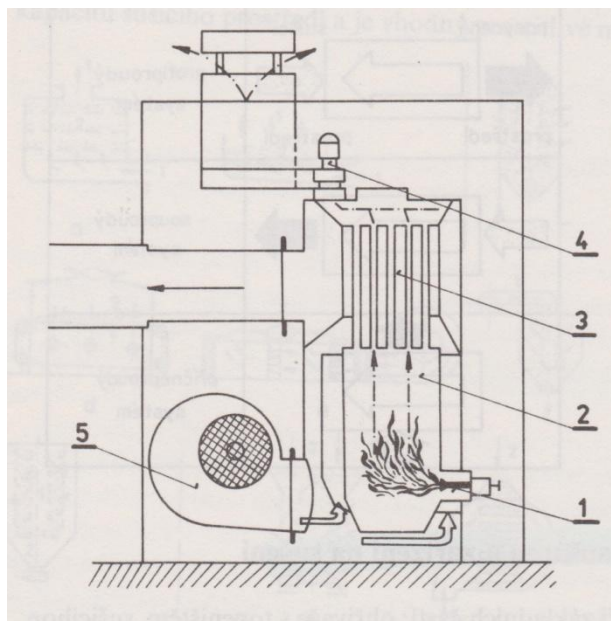
až 900 °C. Ohřivače pro přímý ohřev mají nízké tepelné ztráty a dobrou tepelnou účinnost.



Obrázek 6 – Schéma ohřivače pro přímý ohřev: 1 – regulační klapka přívodu vnějšího vzduchu, 2 – plášť topeniště, 3 – spalovací komora, 4 – dvířka na přikládání paliva, 5 – rošt, 6 – regulační klapka, 7 – směšovací komora, 8 – potrubí sušící směsi, 9 – lapač jisker.

b) Ohřivače pro nepřímý ohřev (Obrázek 7)

Pracují na principu výměníku tepla. Vzduch proudí kolem trubek nebo mezi pláští výměníku a ohřívá se stykem s jejich horkými povrchy, aniž by se mísil se spaliny (kontaktní ohřev). Zdrojem tepla jsou horké spaliny, horká voda nebo elektrická odporová ohřívací tělesa. Teplota vzduchu se pohybuje v rozsahu 80 až 200°C. tepelná účinnost je nižší. Je vyloučena možnost znehodnocení sušeného materiálu stykem se zplodinami hoření. Výměník tepla se používá u sušáren chmele a semen (PROCHÁZKA a kol., 1986).



Obrázek 7 – Schéma ohřivače pro nepřímý ohřev: 1 – hořák, 2 – spalovací komora, 3 – trubkový ohřivač (výměník), 4 – ventilátor spalin, 5 – ventilátor vzduchu.

Topeniště, jako součást ohřivače, vytváří v sušárně zdroj tepla. Podle druhu použitého paliva rozeznáváme topeniště:

- na pevná paliva,
- na tekutá paliva,
- na plynná paliva.

Výjimku tvoří elektrické odporové ohřivače a infraohřivače, které přímo spojují funkce vytváření tepla (topeniště) a ohřivače (výměník tepla) (NEUBAUER a kol., 1989).

2.4.3 Sušící a chladící zařízení

Sušící zařízení zprostředkuje výměnu tepla a vlhkosti mezi sušeným materiálem a sušícím prostředím. V chladícím zařízení se usušený materiál zchlazuje až na venkovní teplotu (PROCHÁZKA a kol., 1986).

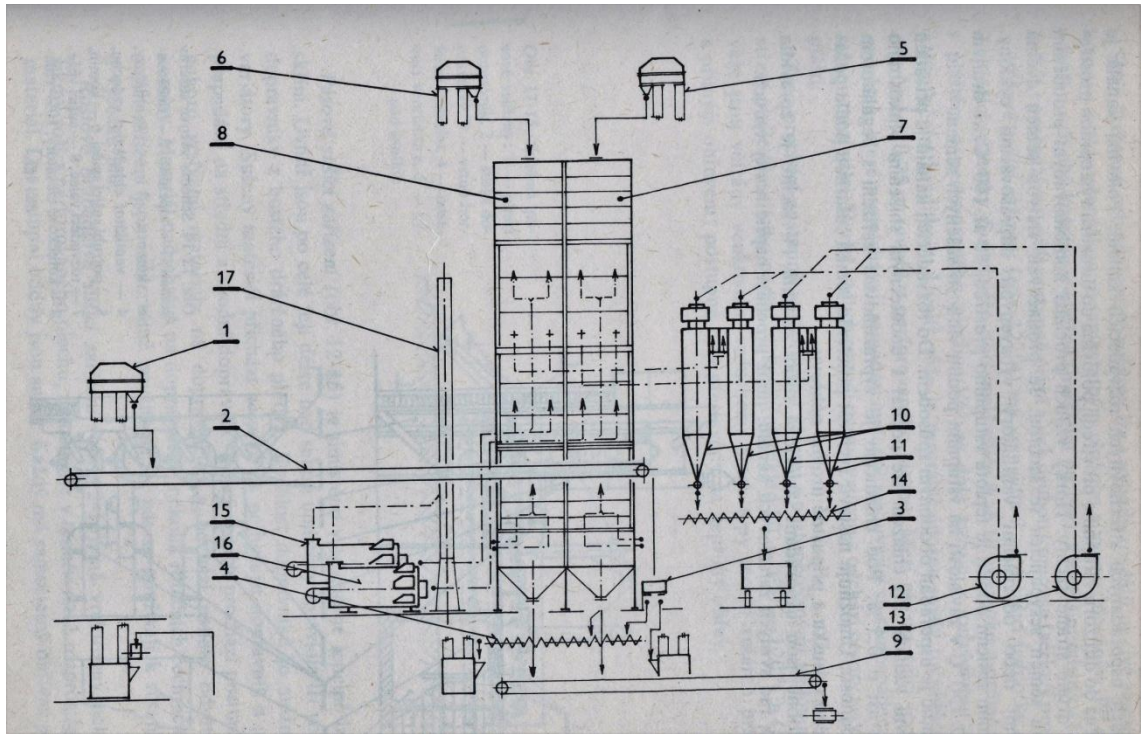
Sušící zařízení je zkonstruováno podle fyzikálně mechanických vlastností materiálu, pro které je zejména určeno. Podle druhu sušeného materiálu se používají nejčastěji tato sušící zařízení:

- sesypná (šachtová),
- věžová,
- pásová,
- roštová,
- bubnová,
- proudová aj. (NEUBAUER a kol., 1989).

2.4.4 Šachtové sušící zařízení

Mají sušící šachtu skříňového tvaru, do níž nahoře ústí plnicí zařízení (korečkový elevátor). Šachta je rozdělena na několik oddílů. Nahoře je zásobník, v němž se udržuje zpravidla automaticky určitá vrstva semen. V zásobníku může být instalován trubkový přehříváč. Střední část šachty zaujímají dva sušící oddíly s vestavbou v řadách uspořádaných střečovitých rozváděcích kanálů. Polovina kanálů je otevřena do difuzoru vstupního prostředí, polovina do difuzoru výstupního prostředí na druhé straně šachty. Horký vzduch prochází kombinovaným prouděním vrstvou semen sesypající se šachtou. Je protlačován vrstvou semen dvěma tlačnými nebo odsávacími ventilátory vybavenými odprašovacími cyklony. V prvním sušícím oddílu je teplota vstupního prostředí 50 až 100 °C, ve druhém 100 až 150 °C v závislosti na vstupním podílu vlhkosti sušených semen.

Chladič je uspořádán obdobným způsobem. Do rozváděcích kanálů je přiváděn venkovní vzduch. Při chlazení lze počítat s dodatečným snížením vlhkostního podílu asi o 0,5 %. Pod chladičem je vyprazdňovací zařízení s regulátorem průchodnosti. Umožňuje nastavit rychlost průchodu semen sušárnou podle požadovaného odsušku a přípustné úrovně náhřevu (PROCHÁZKA a kol., 1986).

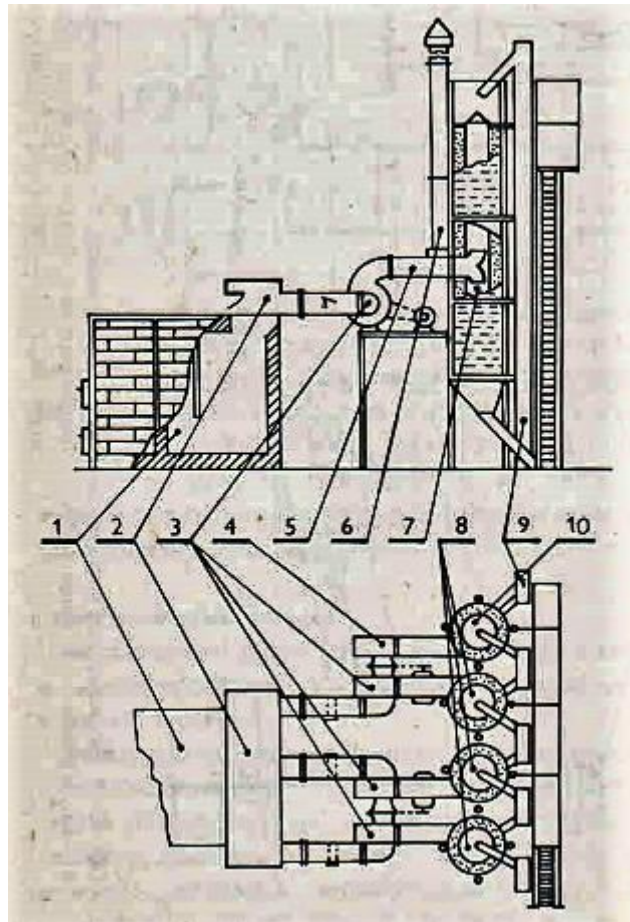


Obrázek 8 – Schéma sesypné šachtové sušárny semene: 1 – elevátor, 2 – pásový dopravník, 3 – předčistička, 4 – šnekový dopravník, 5, 6 – plnicí elevátory, 7, 8 – sušící šachty, 9 – pásový dopravník, 10, 11 – odprašovací cyklony, 12, 13 – odsávací ventilátory, 14 – šnekový dopravník, 15, 16 – ohříváč, 17 – komín spalin.

2.4.5 Věžové sušící zařízení

Má zpravidla 3 až 4 sušící jednotky a 1 až 2 chladící jednotky. Sušící věže jsou svislé válce 8 až 10 m vysoké o průměru 1 m s pláštěm z perforovaného plechu. Věž se dole zužuje v kuželovitou výpusť s regulačním hradítkem. Uvnitř věže je centrálně uložen svislý rozváděcí válec o průměru 0,75 m rovněž z perforovaného plechu. Mezi oběma válci je systém rozpěrek, které promíchávají semenný materiál sesouvající se samospádem mezistěnou mezi válci. Horký vzduch proudí napříč vrstvou a odchází otvory ve vnějším plášti.

Zrno prochází postupně jednotlivými věžemi s odstupňovanými teplotami prostředí podle klesajícího podílu vlhkosti (například 80 – 100 – 120 °C). Chladicí věže jsou větrány venkovním vzduchem (PROCHÁZKA a kol., 1986).

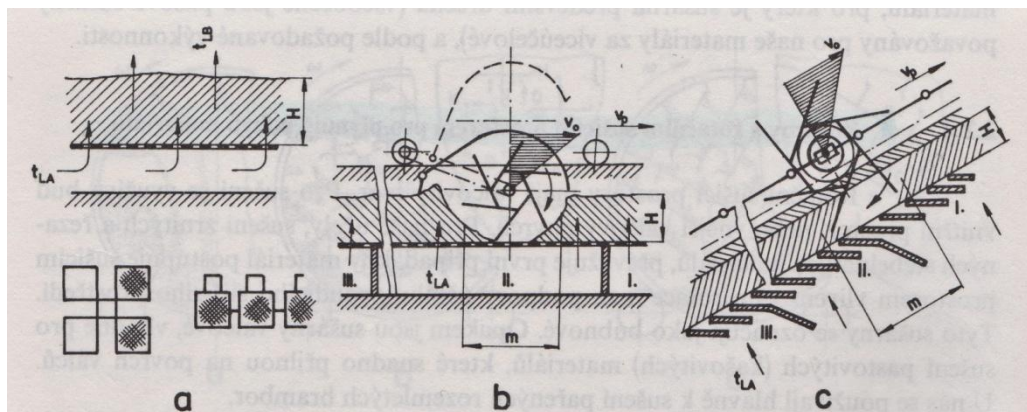


Obrázek 9 – Schéma věžové sušárny semen: 1 – topeniště, 2 – směšovací komora, 3 – ventilátory, 4 – ventilátor chladícího vzduchu, 5 – potrubí sušící směsi, 6 – komín, 7 – rozváděcí válec, 8 – sušící věž, 9 – korečkové elevátory, 10 – chladící věž.

2.4.6 Sušárny s občasným pohybem vrstvy materiálu nebo bez pohybu materiálu

Tyto sušárny se označují jako roštové, někdy též lískové (Obrázek 10). Materiál je ukládán v rovnoměrné vrstvě na rovinný nebo mírně skloněný rošt, jehož konstrukce vzdoruje zatížení vrstvou materiálu a propadávání jeho částic, umožňuje však průchod sušícím prostředím s co nejmenším odporem. Sušící prostředí je vrstvou vysoušeného materiálu profukováno (prosáváno nebo protlačováno). Pro dosažení rovnoměrnosti sušení je třeba materiál rozvrstvit a zajistit tak na celé ploše roštu stejný odpor proti procházejícímu sušícímu prostředí. Tento požadavek nelze splnit pouze zajištěním konstantní výšky vrstvy, a to ani za předpokladu stejně velkých částic materiálu, jestliže

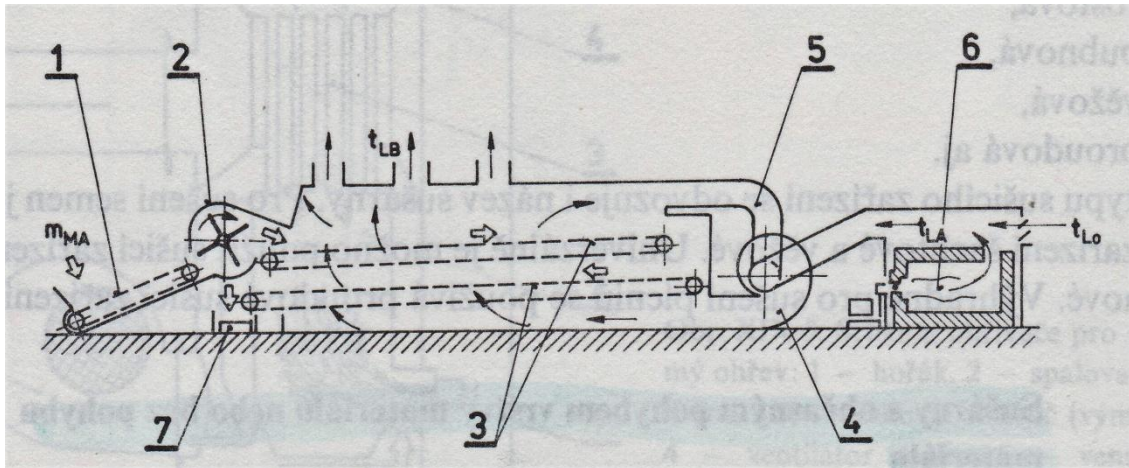
není zároveň dosaženo stejného stlačení vrstvy, což je důležité zejména u pícnin (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 10 – Sušárny s materiálem sušeným v klidu nebo v občasném pohybu – roštové: a – bez obrácení vrstvy, b – s vratným obracečem, c – s oběžnými obraceči

2.4.7 Sušárny s dopravním zařízením pro plynulý pohyb materiálu

Sušárny s dopravním zařízením jsou pro naše účely zejména sušárny pásové, charakteristické tím, že vysušovaný materiál je po celou dobu sušícího procesu (od místa vstupu do místa výstupu) dopravován tunelovým prostorem obdélníkového průřezu a soustavou dopravníkových pásů (Obrázek 11). Počet pásů a jejich uspořádání se liší zejména podle vlastností převládajícího druhu materiálu, pro který je sušárna především určena (všeobecně jsou pásové sušárny považovány pro naše materiály za víceúčelové), a podle požadované výkonnosti (NEUBAUER a kol., 1989).

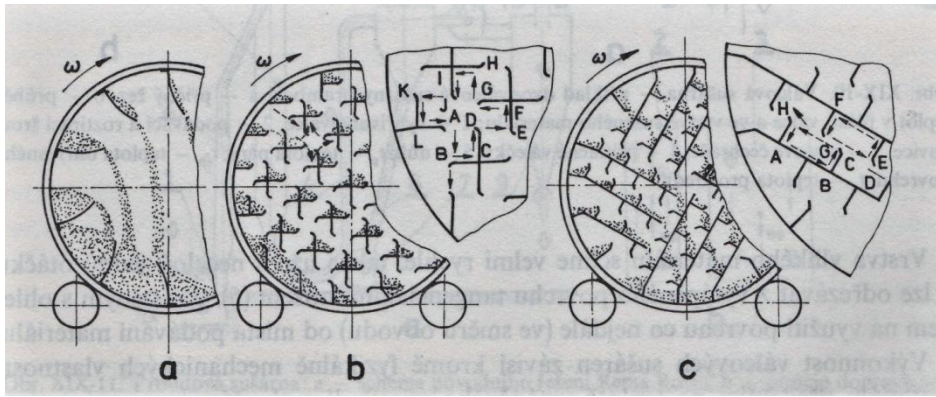


Obrázek 11 – Pásová sušárna se společným přívodem sušícího prostředí pro celou soustavu pásu – podle konstrukce Templewood: 1 – násypka s podávacím pásem, 2 – podávací buben, 3 – dopravní pásy, 4 – ventilátor, 5 – zpětné (recirkulační) potrubí, 6 – topeniště na kapalná paliva, 7 – příčný dopravník usušeného materiálu.

2.4.8 Sušárny s rotačním sušícím prostorem pro plynulý pohyb materiálu

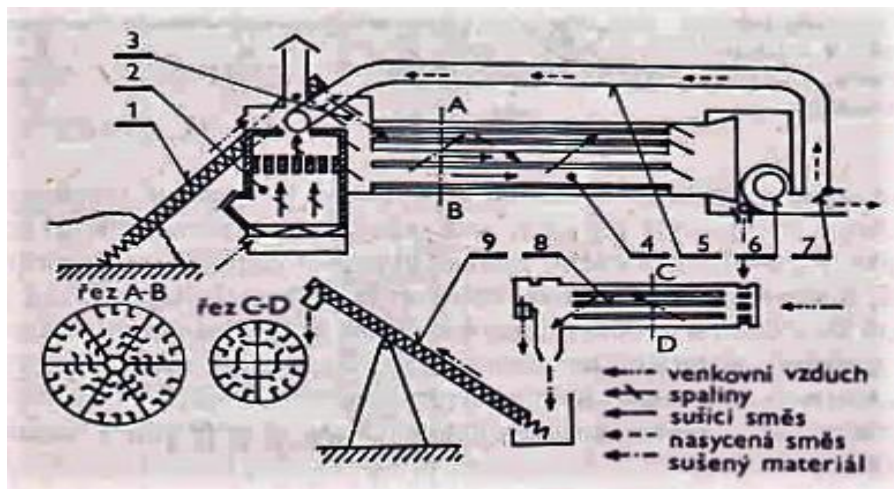
Rotační sušící prostor má válcový tvar. Pro sušení se využívá buď vnitřní prostor nebo vnější válcový prostor. Pro naše účely, sušení zrnitých a řezaných stébelných materiálů, převažuje první případ, kdy materiál postupuje sušícím prostorem vlivem jeho rotace a za podpory účinku proudícího sušícího prostředí. Tyto sušárny se označují jako bubnové. Opakem jsou sušárny válcové, vhodné pro sušení prstovitých (kašovitých) materiálů, které snadno přilnou na povrch válců. U nás se používají hlavně k sušení pařených rozemletých brambor (NEUBAUER a kol., 1989).

Bubnová sušící zařízení tvoří tepelně izolovaný buben o průměru 1 až 4 m a délce 4 až 10 m. Buben je uložen otočně na opěrných a vodících válcích a otáčí se frekvencí 1,5 až 4 min⁻¹. Uvnitř bubnu je systém přepadů (vestavba) (Obrázek 12), jimiž se sušený materiál uvádí do intenzivního pohybu a posouvá se směrem osy bubnu.



Obrázek 12 – Řešení podélné vestavby bubnových sušících prostorů pro rozptýlený pohyb částic materiálu napříč směru proudu sušícího prostředí: a – tvarovanými lopatkami, b – křížovou vestavbu, c – lopatkami s křížovou vestavbou

Jednoplášťové sušící bubny sušáren semen (Obrázek 13) mají zpravidla hustou tzv. křížovou vestavbu. Průchod semen bubnem je relativně pomalý a expozice sušení poměrně dlouhá. Na sušící buben navazuje chladič menších rozměrů obdobné konstrukce a funkce (PROCHÁZKA a kol., 1986).



Obrázek 13 – Schéma bubnové sušárny s jednoplášťovým bubnem: 1 – plnicí šnekový dopravník, 2 – topeniště, 3 – směšovací komora, 4 – sušící buben, 5 – recirkulační potrubí, 6 – odsávací ventilátor, 7 – regulační klapka recirkulace, 8 – chladič, 9 – šnekový dopravník.

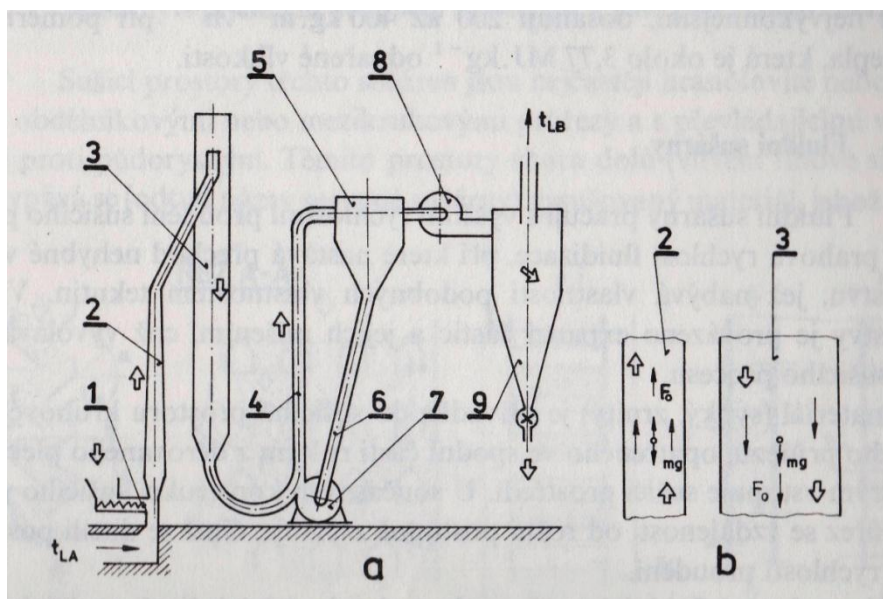
2.4.9 Proudové sušárny

Sušící prostředí, které dodává vysušenému materiálu teplo potřebné k odpaření vlhkosti a odvádějící vlhkost, má ve všech místech sušícího prostoru rychlost převyšující rychlost úletu (odpovídá pádové rychlosti částic). Tím je materiál od místa vkládání až

po odlučování dopravován jeho aerodynamickým působením (kinetickou energií). Sušící prostor sušáren je tvořen soustavou trub kruhového průřezu, převážně ve vertikálním uspořádání. Podle směru pohybu částic a sušícího prostředí rozlišujeme u této soustavy dvě části: vzestupnou, která má průřez zajišťující rychlost proudění směsí, a sestupnou, zpravidla podstatně většího průřezu, která prodlužuje dobu pobytu částic v sušícím prostoru podstatným snížením rychlosti proudění (Obrázek 14).

Teplota sušícího prostředí, které nejčastěji tvoří směs vzduchu a spalin, se obvykle pohybuje okolo 800 °C. Přesto k poškození materiálu přesušením nedochází, protože sušící doba je velmi krátká, řádově do deseti sekund a konečná teplota materiálu je nízká. Vysvětlení fyzikální podstaty této skutečnosti je obdobné jako u sušáren bubnových, které pro jemné části rostlin pracují skoro jako proudové. Při vstupu vlhkých částic do proudu sušícího prostředí začíná doba jejich ohřevu (za téměř konstantního obsahu vlhkosti) až do teploty adiabatického sycení (je rovna teplotě mokrého teploměru), která je menší než 100°C. Protože teplo na tento ohřev i případné odpařování je odebíráno ze sušícího prostředí, poklesne jeho teplota. Během odpařování, po dobu stálé rychlosti sušení zůstává povrchová teplota částic materiálu rovna hodnotě mokrého teploměru, přičemž teplota sušícího prostředí dále klesá. V době klesající rychlosti sušení, kdy na povrchu částic jsou už vysušená místa, je při vhodně volené počáteční teplotě sušícího prostředí (vzhledem k vlhkosti materiálu) jeho konečná teplota tak nízká a doba, po kterou je materiál jeho účinku vystaven, tak krátká, že nedojde k poškození sušeného materiálu.

Mezi výhody těchto sušáren patří zejména velká výkonnost, spolehlivost provozu (kromě ventilátoru nemá pohybující se části) a krátká doba sušení. Nevýhodou je větší náročnost na odlučovací zařízení (kterým prochází všechny materiál) a zejména spotřeba elektrické energie (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 14 – Proudová sušárna: a – schéma původního řešení Rema Rosin, b – princip dopravy a sušení; 1 – podávací zařízení na vlhký materiál, 2, 4 – sušící potrubí vzestupné, 3 – sušící potrubí sestupné, 5 – třídič na odlučování nedosušených částic, 6 – zpětné potrubí, 7 – drtič nebo mlýn (šrotovník), 8 – ventilátor, 9 – odlučovací zařízení.

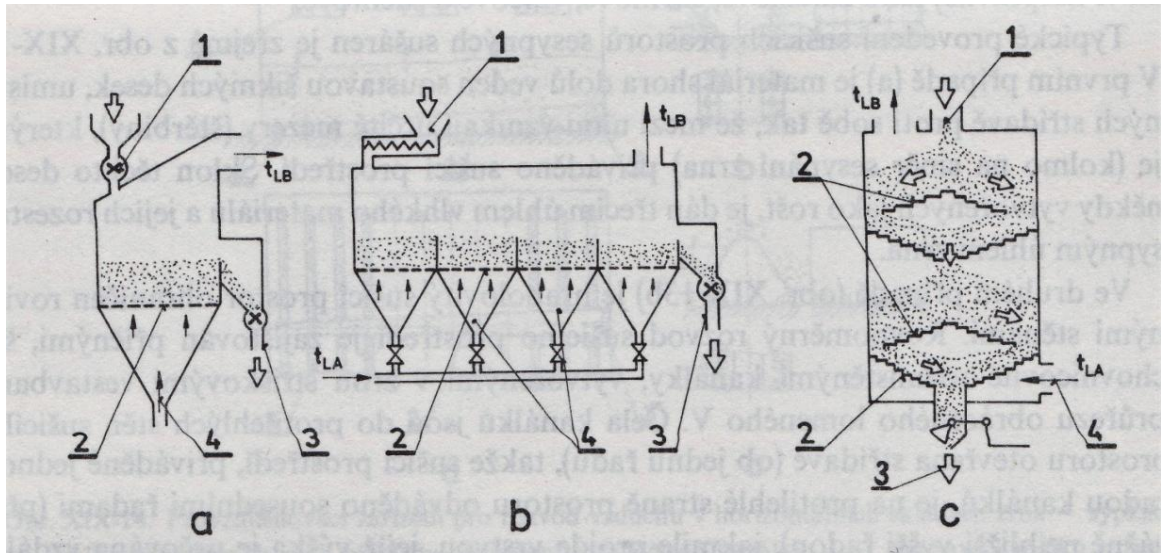
2.4.10 Fluidní sušárny

Fluidní sušárny pracují s vyššími rychlostmi proudění sušícího prostředí než je prahová rychlost fluidizace, při které nastává přechod nehybné vrstvy ve fluidní vrstvu, jež nabývá vlastností podobných vlastnostem tekutin. Vytvoření fluidní vrstvy je provázeno expanzí částic a jejich míšením, což vyvolává velkou intenzitu sušícího procesu.

Vlhký materiál (sypký, zrnitý) je přiváděn do sušícího prostoru kruhového nebo pravoúhlého průřezu, opatřeného ve spodní části roštem z děrovaného plechu nebo mříže, kterým vstupuje sušící prostředí. U současných konstrukcí sušícího prostoru se jeho průřez se vzdáleností od roštu postupně zvětšuje, čímž se docílí postupného snižování rychlosti proudění.

Z hlediska zařazení fluidních sušáren do technologických linek rozlišujeme konstrukce, které umožňují buď periodický provoz (šaržovité zavážení a vypouštění), nebo provoz kontinuální (Obrázek 15). Mohou nastat dva případy: buď množství sušícího prostředí, které vytváří fluidní vrstvu, nestačí k odvedení vlhkosti, nebo tuto

potřebu převyšuje. První případ se řeší s použitím doplňkových vytápěcích ploch, druhý recirkulací sušícího prostředí nebo jeho nižší rychlosti proudění při dodatečné úpravě sušícího prostoru. Touto úpravou, nejčastěji šikmými (někdy i vibračními) rošty, popřípadě mechanickými míchadly, se sleduje vytváření fluidní vrstvy při nižších rychlostech proudění, než odpovídá prahové rychlosti fluidizace (NEUBAUER a kol., 1989).



Obrázek 15 – Fluidní sušárny s kontinuálním provozem: a – přívod a odvod materiálu nad vrstvou, b – sušící prostor rozdělen do několika sekcí, c – sušárna zrnitých materiálů – podle konstrukce Lurgi; 1 – podávání vlhkého materiálu, 2 – rošty, 3 – výstup usušeného materiálu, 4 – přívod sušícího prostředí.

2.5 Mechanická doprava zrnin

Rozlišuje se doprava svislá a vodorovná, popřípadě v libovolném úhlu sklonu. Ke svislé dopravě slouží především korečkové dopravníky, k vodorovné dopravě redlery, pásové dopravníky a šnekové dopravníky. Ohebné spirálové dopravníky umožňují dopravu svislou, vodorovnou nebo v libovolném úhlu sklonu (MALEŘ, 1996).

2.5.1 Korečkové dopravníky

Korečkový dopravník má spodní a horní hlavu. Ve spodní se plní korečky zrninami, které se dopravují šachtou do horní hlavy, kde se odstředivou silou vyprazdňují většinou do spádového potrubí.

Rozdělení:

a) Korečkové dopravníky TMS Pardubice

- Univerzální – používají se k dopravě zrnin nebo jiných sypkých materiálů ve svislém směru. Jsou stavebnicové a umožňují přizpůsobení do nejrůznějších podmínek,
- Gravitační – používají se k dopravě tvarovaných zrnin ve svislém směru až do výšky 15 m,
- Osivářské – používají se pro dopravu osiva ve svislém směru do výšky 6 až 35 m,
- Korečkové dopravníky na prach – používají se pro dopravu suchých odpadních prachů ve svislém směru do výšky 10 až 25 m.

b) Korečkové dopravníky PETKUS

Vyznačují se kruhovým průřezem šachty. Vyrábějí se jednošachtové nebo dvoušachtové. Dpravují zrniny od 5 do 25 m.

c) Korečkové dopravníky KONGSKILDE

Dodávají se s výkonností 20 a 40 t·h⁻¹. Vyznačují se čtvercovým průřezem šachty. Jsou určeny pro svislou dopravu do výšky od 3 do 18 m. Mohou pracovat bez zapaštění do země (bez jámy) se šnekovým podávačem. Konstrukce umožňuje bezprašnou dopravu (MALERŤ, 1996).

2.5.2 Redlery – řetězové dopravníky

Redler dopravuje zrniny uzavřeným žlabem pomocí řetězu s unášeči.

Rozdělení:

a) Redlery TMS Pardubice

- Jednosměrné – zabezpečují jednu dopravní cestu. Mají výkonnost od $32 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, maximální dopravní délku 50 m,
- Dvousměrné – zabezpečují dvě dopravní cesty. Mají výkonnost od $72 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, maximální dopravní délku 25 m,
- Vyprazdňovací – používají se k vyprazdňování příjmových košů a zásobníků. Mají výkonnost od $25 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, maximální dopravní délku 20 m,
- Zalomené – umožňují kombinaci vodorovné a šikmé dopravy. Šikmá větev umožňuje sklon $20 - 30 - 40 - 50 - 80^\circ$. Počet kolen: 1 až 2, dosahovaná výkonnost až $75 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$.

b) Redlery PETKUS

Vyznačují se kruhovým průřezem šachty. Jsou vhodné pro vodorovnou dopravu, popřípadě pro šikmou dopravu vzhůru maximálně do sklonu 20° .

K přednostem těchto dopravníků patří:

- přeprava zrnin v uzavřeném potrubí (troubě), takže nedochází k znečišťování prachem,
- možnost vypouštění zrnin z dopravníku v různých bodech dráhy,
- možnost reverzace tj. dopravy vpřed – vzad,
- nízký příkon,
- možnost řešení dopravy do 50 m.

c) Redlery KONGSKILDE

Vyznačují se čtvercovým průřezem šachty. Jsou určeny pro vodorovnou dopravu, popřípadě pro šikmou dopravu vzhůru maximálně do sklonu 15° . Umožňují stavebnicové řešení s délkou dráhy 5 až 40 m a výkonností 25 a $40 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ (MALEŘ, 1996).

2.5.3 Pásové dopravníky

Pásový dopravník dopravuje zrniny otevřeným žlabem nebo na kladkách pryžovým pásem.

Rozdělení:

a) Pásové dopravníky TMS Pardubice

Se shazovacími vozíky jsou určeny pro vodorovnou dopravu zrnin (sympkých materiálů) do jednotlivých buněk sila. Jejich výkonnost je $75 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$, šířka pryžového pásu 500 mm.

b) Pásové dopravníky PRISI

Mají stavebnicovou konstrukci a lze je využít i pro dopravu zrnin. Dodávají se v těchto provedení:

- pásový dopravník hladký,
- pásový dopravník žlabový,
- pásový dopravník hrabičkový,
- dopravník hrabičkový pojezdový,
- pásový dopravník speciální se zvýšenými bočnicemi,
- potravinářský dopravník s potravinářským pásem,
- speciální dopravník v souladu s přáním zákazníka (MALER, 1996).

2.5.4 Šnekové dopravníky

Šnekový dopravník dopravuje zrniny ve žlabu (uzavřeném nebo otevřeném) otáčející se šnekovnicí.

Rozdělení:

a) Šnekové dopravníky TMS Pardubice

Jsou určeny pro vodorovnou dopravu a některé typy i pro dopravu svislou. Jsou vhodné pro dopravu zrnin, šrotů a jiných zrnitých materiálů.

b) Šnekové dopravníky KONGSKILDE

Dodávají se jednak jako jednotlivé šnekové dopravníky, jednak jako stavebnice šnekových dopravníků umožňující dopravu „za roh“.

- Jednotlivé šnekové dopravníky
Umožňují dopravu vodorovnou, šikmo vzhůru i dopravu svislou. Konstrukce je velmi jednoduchá. Minimálního poškození se dosáhne, jestliže se pracuje s plnou výkonností. Potřeba příkonu je nízká. Dodávají se pro dopravu na vzdálenost od 3 do 12 m. Výkonnost je $15,6$ a $40 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Stavebnice šnekových dopravníků

Umožňuje vodorovnou dopravu, dopravu šikmo vzhůru, dopravu svislou i dopravu „za roh“. Je sestavena z jednotlivých šnekových dopravníků. Výrobce jí nabízí pro dopravní vzdálenost od 3 do 30 m. Výkonnost je $11,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$.

c) Ohebné spirálové dopravníky (PROKOP Pardubice)

Umožňují přepravu vodorovnou, svislou nebo v libovolném úhlu sklonu. Jsou řešeny stavebnicově. Dopravní účinek vyvolává ocelová spirála ve tvaru šroubovice, která se otáčí uvnitř ohebné dopravní trubky (MALEŘ, 1996).

3 Cíl práce

Cíl práce se zpracovat údaje o práci zvolené sušárny v provozních podmínkách a stanovit energetickou náročnost procesu sušení.

Zaměřit se na proces sušení a požadavky na kvalitu výstupních produktů. Přehled používaných sušáren, jejich vlastnosti a technické parametry. Stanovit energetickou náročnost procesu sušení se zaměřením na spotřebu energie pro vlastní sušení i na energii dopravních cest. Provedení vlastního měření na konkrétní sušárně a vyhodnocení získaných údajů.

4 Metodika práce

Práce je zaměřena na energetickou bilanci sušárny zrnin a dopravních cest na plnění a vyprazdňování sušárny.

Pro mou práci byla důležitá spolupráce s firmou v jižních Čechách a sběr informací od zaměstnanců firmy, kteří se sušárnou zrnin pracují. Data na svou práci jsem sbíral při sušení zrnin během sklizně v roce 2015 a 2016.

V podniku, se kterým jsem spolupracoval, byla sušárna firmy Bühler poprvé uvedena do provozu před žněmi roku 2016. Do té doby firma používala sušárnu od firmy Stela typu MDB-TN 1/12 S.

Nashromážděná data z deníku sušárny z roku 2015 a 2016, které mi poskytli zaměstnanci firmy, jsem zpracoval do tabulek.

Naplnění sušárny se provádí ze zásobníků jedinou možnou dopravní cestou, která je tvořena redlerem pod zásobníky, elevátorem (korečkový dopravník) a redlerem nad sušárnou. Redler pod zásobníky vede do elevátoru. Elevátor dopraví materiál do redleru sušárny.

Vyprazdňování sušárny se provádí redlerem pod sušárnou a jedním elevátorem, který ústí do velkokapacitních skladovacích buněk sila.

4.1 Použité vzorce

Hmotnosti usušeného materiálu m se vypočítá dle vztahu:

$$m = t * m_h \quad [t] \quad (1)$$

t – doba sušení [h]

m_h – hmotnost usušeného materiálu za hodinu [$t \cdot h^{-1}$]

Hmotnost odsušené vlhkosti m_o se vypočítá dle vztahu:

$$m_o = m_v - m \quad [t] \quad (2)$$

m_v - hmotnost sušeného materiálu [t]

Spotřeba zemního plynu na tunu usušeného materiálu S_{pt} se vypočítá dle vztahu:

$$S_{pt} = \frac{V_p}{m} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}] \quad (3)$$

V_p – objem spotřebovaného plynu [m^3]

Spotřeba elektrické energie na tunu usušeného materiálu S_{et} se vypočítá dle vztahu:

$$S_{et} = \frac{E_e}{m} \quad [\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (4)$$

E_e – spotřebovaná elektrická energie [kWh]

Spotřeba zemního plynu za hodinu provozu sušárny zrnin S_{ph} se vypočítá dle vztahu:

$$S_{ph} = \frac{V_p}{t} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (5)$$

Spotřeba elektrické energie za hodinu provozu sušárny zrnin S_{eh} se vypočítá dle vztahu:

$$S_{eh} = \frac{E_e}{t} \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

Spotřeba celkové energie na provoz sušárny zrnin E se vypočítá dle vztahu:

$$E = V_p * 10,55 + E_e \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

10,55 – převodová hodnota 1 m^3 zemního plynu na energii [kWh]

Spotřeba celkové energie na hodinu provozu sušárny zrnin E_t se vypočítá dle vztahu:

$$E_t = \frac{E}{t} \quad [\text{kW}] \quad (8)$$

Spotřeba celkové energie na tunu usušeného materiálu E_m se vypočítá dle vztahu:

$$E_m = \frac{E}{m} \quad [\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (9)$$

Spotřeba dopravníku E_d se vypočítá dle vztahu:

$$E_d = P * t \quad [\text{kWh}] \quad (10)$$

P – příkon [kW]

Celková spotřeba dopravní cesty E_{cd} se vypočítá dle vztahu:

$$E_{cd} = \sum E_d \quad [\text{kWh}] \quad (11)$$

Celková spotřeba dopravní cesty na tunu dopraveného materiálu E_{ct} se vypočítá dle vztahu:

$$E_{ct} = \frac{E_{cd}}{m} \quad [\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}] \quad (12)$$

5 BÜHLER

Správná ochrana zajišťuje kvalitu a spolu s ním i hodnotu obilí pro výrobce. Kromě důkladného čištění a způsobu skladování, hraje ideální proces sušení klíčovou roli v ochraně materiálu. Vysoce kvalitní systémy pro sušení Bühler zajišťují optimální hodnoty produktu.

5.1 Řídící systém EcoIntelligence

Uživatelská přívětivost je díky velmi jednoduché obsluze a 3D animované vizualizaci procesu, stejně jako hladká integrace do řídicího systému. Díky svým četným výhodám EcoIntelligence nastavuje nový standard v oblasti řídicích systému sušáren. Zejména vynikající je intuitivní ovládání a jasná vizualizace procesu v průmyslových počítačích s velkým dotykovým panelem. Kromě minimalizace nákladů na školení a provozních chyb, se uživatel může spolehnout na pohodlnou správu systému. Kromě toho, přístup do sušárny prostřednictvím mobilních zařízení nabízí vysokou flexibilitu. Pro vysoce efektivní systémy automatického řízení vlhkosti systému Ecomation je řešením dosažení špičkové kvality produktu s vysokou energetickou účinností při minimálních dobách sušení. Důraz je vždy kladen na požadovaný obsah vlhkosti cílového produktu na konci procesu sušení, který se nastavuje automaticky.

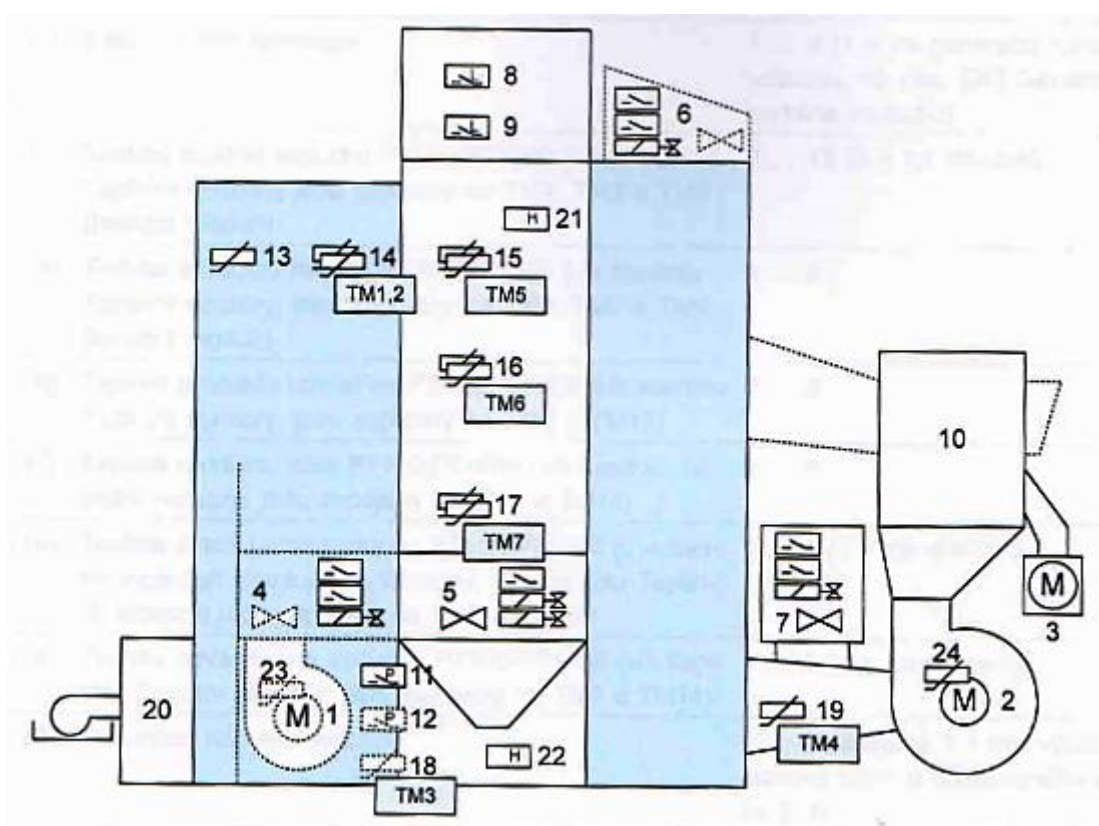
5.2 Konstrukce sušárny

Obecně se sušárna skládá z teplovzdušné části, ve které se vytváří horký vzduch, proudové části a části odtahu vzduchu. Tyto 3 části společně tvoří sloupek sušárny. Jedna sušárna se skládá z 1 až 6 sloupků.

5.2.1 Prvky sušárny, radiální

Schéma radiální sušárny zrnin (Obrázek 16) firmy, u které jsem prováděl měření. Tento typ sušárny firma poprvé použila na žně v roce 2016.

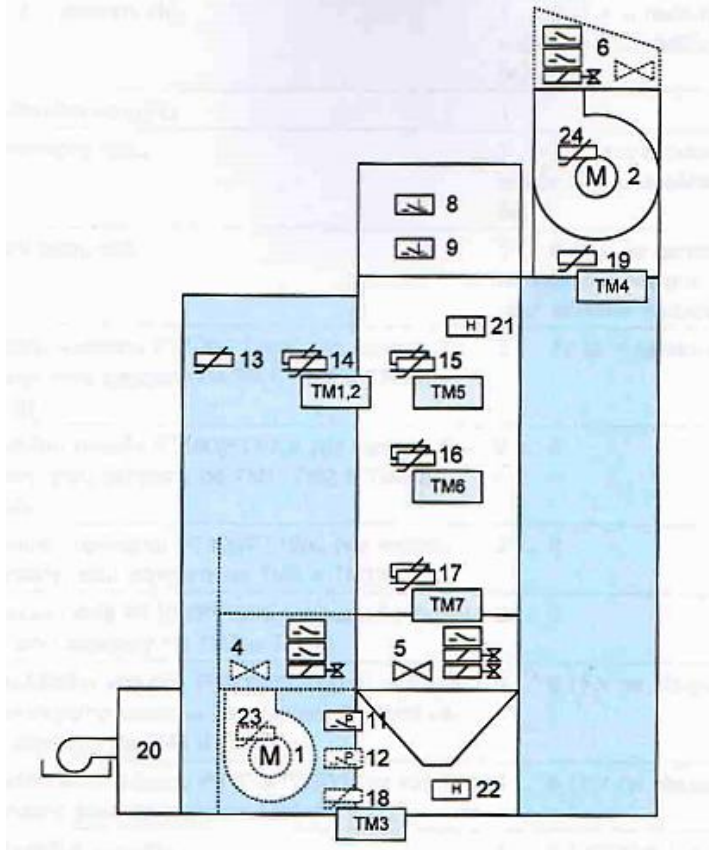
Chod celé sušárny zrnin je řízen automaticky, přednastaveným programem z velicího střediska síla. Obsluha sušárny mění nastavené hodnoty dle vstupní vlhkosti zrna a požadované výstupní vlhkosti zrna. Úloha měřících senzorů uvnitř sušárny je bezpečnostní nebo kontrolní. V případě nebezpečí požáru, sušárna upozorní alarmem obsluhu a sama zastaví provoz.



Obrázek 16 – Prvky sušárny, radiální: 1 – ventilátor cirkulujícího vzduchu, 2 – ventilátor pro odtah vzduchu, 3 – prachová propust, 4 – klapka cirkulujícího vzduchu, 5 – vyprazdňovací modul, 6 – dešťová klapka, 7 – klapka sekundárního vzduchu, 8 – předzásobník – plný stav, 9 – předzásobník – prázdný stav, 10 – odlučovač prachu, 11 – hlídání stlačeného vzduchu, 12 – hlídání rozdílového tlaku, 13 – bezpečnostní termostat, 14 – teplota teplého vzduchu, 15 – teplota produktu nahoře, 16 – teplota produktu uprostřed, 17 – teplota produktu dole, 18 – teplota cirkulujícího vzduchu, 19 – teplota odváděného vzduchu, 20 – generátor horkého vzduchu, 21 – měření vlhkosti na přívodu materiálu, 22 – měření vlhkosti na výpusti, 23 – teplota motoru ventilátoru cirkulujícího vzduchu, 24 – teplota motoru ventilátoru pro odtah vzduchu.

5.2.2 Prvky sušárny, axiální

Schéma sušárna axiální (Obrázek 17) je druhá možnost konstrukce sušárny zrnin.



Obrázek 17 – Prvky sušiče, axiální: 1 – ventilátor cirkulujícího vzduchu, 2 – ventilátor pro odtah vzduchu, 4 – klapka cirkulujícího vzduchu, 5 – vyprazdňovací modul, 6 – dešťová klapka, 8 – předzásobník – plný stav, 9 – předzásobník – prázdný stav, 11 – hlídání stlačeného vzduchu, 12 – hlídání rozdílového tlaku, 13 – bezpečnostní termostat, 14 – teplota teplého vzduchu, 15 – teplota produktu nahoře, 16 – teplota produktu uprostřed, 17 – teplota produktu dole, 18 – teplota cirkulujícího vzduchu, 19 – teplota odváděného vzduchu, 20 – generátor horkého vzduchu, 21 – měření vlhkosti na přívodu materiálu, 22 – měření vlhkosti na výpusti, 23 – teplota motoru ventilátoru cirkulujícího vzduchu, 24 – teplota motoru ventilátoru pro odtah vzduchu.

Radiální sušárna zrnin se od axiální sušárny zrnin liší umístěním ventilátoru pro odtah vzduch. Axiální sušárna zrnin nemá prachovou propust, klapku sekundárního vzduchu a odlučovač prachu.

5.3 Sušení 2015

Na základě informací ze sušárenského deníku za rok 2015, které mi poskytli zaměstnanci mnou vybrané firmy, jsem vytvořil tabulku 1. Zaměstnanci do deníku zapisují všechny údaje, které můžeme vidět v uvedené tabulce.

Tabulka 1 – Sušárenský deník ze žní 2015

Datum	Plodina	Sušeno [t]	Čas		Doba sušení [h]	Vstupní vlhkost [%]		Výstupní vlhkost [%]		Usušeno [t]	Odsušeno [t]
			Od	Do		Od	Do	Od	Do		
20.7.	Řepka	307,5	9:30	21:00	11,5	9,5	12,4	7,4	9	299	8,5
21.7.	Řepka	148	6:15	11:45	5,5	10,4	13	7,6	9	143	5
22.7.	Řepka	181,3	22:45	5:30	6,75	9,8	13,3	7,6	9,1	175,5	5,8
26.7.	Řepka	103	14:10	18:00	3,833	10,8	12,1	7,8	8,6	99,658	3,342
29.7.	Pšenice	118,3	8:00	12:55	4,916	15,9	17	12,6	13,9	114,5428	3,7572
30.7.	Pšenice	323,9	19:00	8:25	13,416	15,8	17,6	12,4	14	312,5928	11,3072
2.8.	Pšenice	121,5	11:00	16:00	5	16,3	18,2	12,2	14,1	116,5	5
26.10.	Kukuřice	212,2	20:15	5:00	8,75	29,8	35,4	19,6	22,1	187,25	24,95
26.10.	Kukuřice	242,3	5:00	15:30	10,5	19,9	23,1	13,5	15	224,7	17,6
30.10.	Kukuřice	146,3	13:10	19:00	5,833	32,7	40,5	20,5	23,3	124,8262	21,4738
30.10.	Kukuřice	178,9	19:00	2:40	7,666	20,6	24,2	13,2	15	164,0524	14,8476
31.10.	Sojové boby	147	8:00	14:00	6	20,1	22,3	12,1	13,9	135	12

Za rok 2015 spotřeba energie sušárny na odsušení 133,6 tun vlhkosti byla: zemní plyn 11 139 m³, elektrická energie 25 440 kWh.

Za kalendářní rok 2015 sušícím procesem prošlo: 717,2 tun řepky olejné při odsušku 2,5 až 3,7 %, 543,6 tun pšenice krmné a potravinářské při odsušku 3,6 %, 700,8 tun kukuřice při odsušku 9 až 12 % a 135 tun sojového bobu při odsušku 8,2 %. Celkem bylo usušeno 2 096,6 tun zrnin.

5.4 Sušení 2016

Na základě informací ze sušárenského deníku za rok 2016, které mi poskytli zaměstnanci mnou vybrané firmy, jsem vytvořil tabulku 2.

Tabulka 2 – Sušárenský deník ze žní 2016

Datum	Plodina	Sušeno [t]	Čas		Doba sušení [h]	Vstupní vlhkost [%]		Výstupní vlhkost [%]		Usušeno [t]	Odsušeno [t]
			Od	Do		Od	Do	Od	Do		
22.7.	Řepka	212	11:00	19:00	8	10,1	11,1	7,8	9,6	208	4
23.7.	Řepka	214,4	8:45	16:45	8	10	13,3	7,9	9,4	208	6,4
25.7.	Řepka	153,8	15:15	21:00	5,75	10,2	12,9	8,4	9,1	149,5	4,3
26.7.	Řepka	213,2	13:30	21:30	8	9,9	12,1	8	9,1	208	5,2
27.7.	Řepka	81,4	18:30	21:30	3	10,9	13,8	7,9	8,4	78	3,4
28.7.	Řepka	55,7	12:45	16:50	2,083	10,7	11,6	7,4	9,3	54,158	1,542
29.7.	Řepka	165,1	6:10	12:20	6,166	10,3	13,4	8,1	9,8	160,316	4,784
29.7.	Pšenice	83,3	18:00	21:30	3,5	15,9	18,1	14	15,9	81,55	1,75
30.7.	Pšenice	272,3	9:30	20:45	11,25	15,9	18,1	12	14,5	262,125	10,175
1.8.	Pšenice	153,2	6:50	13:15	6,416	15,8	17,1	12,9	15,1	149,4928	3,7072
1.8.	Řepka	51,3	17:55	19:50	1,916	10,9	12,2	8,4	8,8	49,816	1,484
2.8.	Řepka	155,5	15:25	21:10	5,75	10,9	13	7,4	8,8	149,5	6
3.8.	Řepka	133	16:15	21:10	4,916	11	13,3	7,7	8,8	127,816	5,184
5.8.	Pšenice	321,4	8:00	21:15	13,25	16,5	19,7	13,2	15,1	308,725	12,675
6.8.	Pšenice	270	8:25	19:15	10,833	18	23,1	13,6	14,5	252,4089	17,5911
7.8.	Pšenice	185,4	14:00	21:30	7,5	17,9	21,4	13,1	14,7	174,75	10,65
8.8.	Pšenice	398,2	6:20	22:50	16,5	16,3	18,6	13,2	14,8	384,45	13,75
9.8.	Řepka	117,8	3:20	7:50	4,5	9,1	11	8,4	10,3	117	0,8
15.8.	Pšenice	177,7	9:30	16:55	7,416	16,2	18	13	15,7	172,7928	4,9072
22.8.	Pšenice	208,7	13:00	21:30	8,5	17,5	20,2	13,2	14,3	198,05	10,65
23.8.	Pšenice	398,7	6:20	22:40	16,333	16,9	20,3	12,9	15,2	380,5589	18,1411
30.8.	Pšenice	149,7	6:20	14:55	6,333	15	17,3	13,7	15,8	147,5589	2,1411
18.10.	Kukuřice	185,2	22:20	6:00	7,666	35,1	39,9	22,5	29,7	164,0524	21,1476
19.10.	Kukuřice	583,5	6:00	6:00	23	32,4	41,2	18,9	23,4	492,2	91,3
20.10.	Kukuřice	609,6	6:00	6:00	24	33,7	39,8	19,7	22,3	513,6	96
21.10.	Kukuřice	540,9	6:00	6:00	20,5	34,2	44,8	19,4	21,8	438,7	102,2
22.10.	Kukuřice	458,8	6:00	6:00	20,25	18,3	22,3	13,7	15,8	433,35	25,45
23.10.	Kukuřice	552,3	6:00	6:00	24	19,8	23,7	14	15,5	513,6	38,7
24.10.	Kukuřice	396,5	6:00	5:00	16	34,5	39,9	20,3	26,8	342,4	54,1
28.10.	Sojové boby	315,4	16:25	5:20	12,916	20,4	23,1	12,7	15,1	290,61	24,79
29.10.	Kukuřice	312	12:30	2:00	13,5	18,1	26,8	13,3	16,8	288,9	23,1
30.10.	Kukuřice	518,8	1:00	21:00	20	40,6	45,3	24,1	26,8	428	90,8
30.10.	Kukuřice	328,3	21:00	11:00	14	30,9	35	23,5	24,9	299,6	28,7
31.10.	Kukuřice	269,3	12:00	23:00	11	32,8	34,5	18,8	23,3	235,4	33,9
31.10.	Kukuřice	210,4	23:00	7:50	8,833	22	26,8	13	15,7	189,0262	21,3738
1.11.	Kukuřice	510,7	9:10	6:20	21,166	24,3	27,4	13,8	15,3	452,9524	57,7476
2.11.	Kukuřice	331,9	8:30	23:10	14,666	19,3	22,1	14,5	16	313,8524	18,0476
5.11.	Kukuřice	268,6	13:15	0:00	10,75	27,1	31,7	13,9	16,2	230,05	38,55
9.11.	Kukuřice	606,6	6:30	6:00	23,5	29	33,6	13,3	15,1	502,9	103,7
10.11.	Kukuřice	211,8	11:15	19:30	8,25	28,9	32,9	13,7	14,8	176,55	35,25
14.11.	Kukuřice	157,6	12:15	19:00	6,75	20,7	25,4	14	15,4	144,45	13,15
16.11.	Kukuřice	175,5	6:25	13:00	6,583	28,6	31,3	8,1	12,3	140,8762	34,6238

Za rok 2016 spotřeba energie sušárny na odsušení 1 101,9 tun vlhkosti byla: zemní plyn 54 560 m³, elektrická energie 43 667,9 kWh.

Za kalendářní rok 2016 sušícím procesem prošlo: 1 510,1 tun řepky olejné při odsušku 2,4 až 3,3 %, 2 512,5 tun pšenice krmné a potravinářské při odsušku 3,3 až 4,2 %, 6 300,5 tun kukuřice při odsušku 11,5 až 13,5 % a 290,6 tun sojového bobu při odsušku 7,7 až 8 %. Celkem bylo usušeno 10 613,7 tun zrnin.

5.5 Spotřeba energií na sušení

Podle stavu elektroměru a plynoměru na začátku a na konci procesu sušení v jednotlivých letech byly zaznamenány hodnoty uvedené v tabulce 3.

Tabulky 3 - Porovnává spotřeby energií v roce 2015 a 2016.

	Zemní plyn		El. energie		Celková energie	
	[m ³]		[kWh]		[kWh]	
Žně	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Spotřeba	11139	54560	25440	43667,9	142956,45	619275,9
Spotřeba na tunu	5,312832	5,140556	12,1338038	4,1143197	68,184179	58,34719
Spotřeba za hodinu	124,2305	115,289852	283,72591	92,273932	1594,3573	1308,582

Spotřeba zemního plynu na tunu sušeného materiálu se v roce 2016 snížila o 3,2 % proti roku předcházejícímu a hodinová spotřeba se snížila o 8,94 m³.

Spotřeba elektrické energie na tunu sušeného materiálu se v roce 2016 snížila o 66,1 % proti roku 2015 a hodinová spotřeba se snížila o 191,45 kW.

Celková spotřeba energií na provoz sušárny zrnin v roce 2015 byla 142 956,45 kWh, v roce 2016 byla 619 275,9 kWh.

5.6 Spotřeba energie na dopravní cesty

Vyprazdňovací a plnicí dopravní cesty jsou provozu po celou dobu sušení.

Tabulka 4 - Energie dopravních cest za rok 2015

		Vyprazdňovací		Plnicí		
		redler	elevátor	redler 1	elevátor	redler 2
Výkon	[kW]	5,5	9,2	5,5	5,5	5,5
Doba provozu	[h]	89,664				
Spotřeba	[kWh]	493,152	824,9088	493,152	493,152	493,152
Spotřeba celkem	[kWh]	1318,0608		1479,456		

Spotřeba elektrické energie na vyprázdňení a plnění sušárny za rok 2015 je 2 797,517 kWh za dobu provozu 89 hodin a 40 minut.

Tabulka 5 - Energie dopravních cest za rok 2016

		Vyprazdňovací		Plnicí		
		redler	elevátor	redler 1	elevátor	redler 2
Výkon	[kW]	5,5	9,2	5,5	5,5	5,5
Doba provozu	[h]	473,242				
Spotřeba	[kWh]	2602,831	4353,8264	2602,831	2602,831	2602,831
Spotřeba celkem	[kWh]	6956,6574		7808,493		

Spotřeba elektrické energie na vyprázdňení a plnění sušárny za rok 2016 je 14 765,15 kWh za dobu provozu 473 hodin a 15 minut.

6 Diskuse

Ve své práci jsem zjistil, že spotřeba energií sušáren zrnin je závislá na mnoha faktorech. Některé faktory nemůže provozovatel sušárny ovlivnit, například počasí, které ovlivňuje vstupní vlhkost zrna. Při vyšší vlhkosti přijímaného zrna je proces sušení delší a energeticky náročnější. Provozovatel sušárny může ovlivnit dobu po, kterou má v plánu zrno uskladnit a možnost využití provzdušňování. Delší doba uskladnění zrnin v silech vyžaduje nižší procento vlhkosti.

Energetickou bilanci sušení zrnin značně ovlivňuje možnost sušárny využití odpadního tepla.

V roce 2015 bylo v době žní suché a slunečné počasí, teploty se často přibližovaly k teplotám tropických dnů. Firma, se kterou jsem spolupracoval, nemusela všechno přijaté zrno sušit.

Za celý rok 2015 se v sušárně usušilo 2 096,6 tun zrnin při spotřebě 142 956,45 kWh zemního plynu a 25 440 kWh elektrické energie.

V roce 2016 nebylo počasí v době žní tak slunečné a suché jako předešlý rok. V nové sušárně, která využívá odpadní teplo, se usušilo 10 613,7 tun zrnin při spotřebě 619 275,9 kWh zemního plynu a 46 667,9 kWh elektrické energie.

7 Závěr

Po výměně sušáren zrnin došlo ke snížení spotřeby zemního plynu o 3,2 % a elektrické energie o 66,1 %. Hodinová spotřeba energie na dopravní cesty je oba roky stejná 31,2 kW. Spotřeba energie dopravních cest je závislá na době provozu sušárny.

Výrobce sušárny uvádí normovanou spotřebu 100 až 300 m³ zemního plynu za hodinu. Z mnou získaných údajů, za rok 2015, je hodinová spotřeba zemního plynu 124,23 m³ a za rok 2016 je hodinová spotřeba zemního plynu 115,29 m³.

Sušení obilí je velice náročný proces na spotřebu energií. Ne všechny náklady může provozovatel ovlivnit. Vyšší spotřeba energií má negativní vliv na životní prostředí.

Firma, se kterou jsem spolupracoval, má zájem na ochranu životního prostředí, ale i na finanční dopad pro svou firmu. Z těchto důvodů se firma rozhodla k výměně staršího typu sušárny, která nevyužívá odpadní teplo, za novou sušárnu.

8 Seznam použité literatury

1. NEUBAUER K., FRIEDMAN M., JECH J., PÁLTIK J., PTÁČEK F., (1989). *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Vydání první, vydalo Státní zemědělské nakladatelství v Praze roku 1889, 720 s. ISBN 80-209-0075-6
2. PROCHÁZKA B., KONUPČÍK J., TURČEK J., VELDA K., (1986). *Mechanizácia rastlinnej výroby*. Vydanie prvé, vydala Príroda, vydateľstvo kníh a časopisov v Bratislave v roku 1986, 520 s. ISBN 301-04-22
3. MALEŘ J., (1996). *Skladování zrnin*. Vydání první, vydal Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky v Praze v roce 1996, 58 s. ISBN 80-7105-113-8
4. BÜHLER GROUP. *Návod k obsluze*. Schweiz

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Molliérův $i - x$ diagram, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 2 – Skladovatelnost obilí ve větrané vrstvě při různých vlhkostních podílech a teplotách vrstvy, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 3 – Větrací síla, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 4 – Systém horkovzdušných sušáren, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 5 – Schéma sušáren, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 6 – Schéma ohříváče pro přímý ohřev, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 7 – Schéma ohříváče pro nepřímý ohřev, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 8 – Schéma sesypné šachtové sušárny semen, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 9 – Schéma věžové sušárny semen, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 10 – Sušárny s materiálem sušeným v klidu nebo v občasném pohybu, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 11 – Pásová sušárna se společným přívodem sušícího prostředí pro celou soustavu pásu – podle konstrukce Templewood, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 12 – Řešení podélné vestavby bubnových sušících prostorů pro rozptýlený pohyb částic materiálu napříč směru proudu sušícího prostředí, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 13 – Schéma bubnové sušárny s jednoplášťovým bubnem, zdroj: PROCHÁZKA a kol., 1986

Obrázek 14 – Proudová sušárna, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 15 – Fluidní sušárny s kontinuálním provozem, zdroj: NEUBAUER a kol., 1989

Obrázek 16 – Prvky sušiče, radiální, zdroj: BÜHLER GROUP

Obrázek 17 - Prvky sušiče, axiální, zdroj: BÜHLER GROUP

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Sušárenský deník ze žní 2015

Tabulka 2 – Sušárenský deník ze žní 2016

Tabulka 3 – Porovnává spotřeby energií v roce 2015 a 2016

Tabulka 4 – Energie dopravních cest za rok 2015

Tabulka 5 – Energie dopravních cest za rok 2016