

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Posklizňová úprava obilovin

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Autor práce: Petr Hovorka

Praha 2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Hovorka

Technologická zařízení staveb

Název práce

Posklizňová úprava obilovin

Název anglicky

Post-harvest activities related to cereals

Cíle práce

Sestavení literární rešerše, která bude shrnovat teoretické principy sušení a čištění obilovin, konstrukční uspořádání čističek a sušáren a posouzení vlivu použitého topného média na konstrukci sušárny.

Metodika

1. Struktura práce by se co nejvíce měla přiblížit schématu:

- A. Úvod
- B. Materiál a metody
- C. Výsledky
- D. Diskuse
- E. Závěr

V práci rešeršního charakteru lze připustit sloučení bodů B a C. Podobně lze slučovat diskusi a závěr.

2. V bakalářské práci by měl být popsán:

- historický vývoj posklizňových úprav obilovin se zaměřením na jejich čištění a sušení,
- současný trend v konstrukci čističek a sušáren.

Diskuse by měla být orientována zejména na ovlivnění konstrukčního uspořádání sušáren topným médiem.

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schémata, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat. Nedílnou součástí práce je i obsah, abstrakt, seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků, tabulek a literatury.

Práce může být doplněna přílohami.

- 4. Při vypracování bakalářské práce je nutno dbát na respektování citačních pravidel dle ČSN ISO 690:2011.
 - 5. Vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu.
-

Doporučený rozsah práce

35 stran

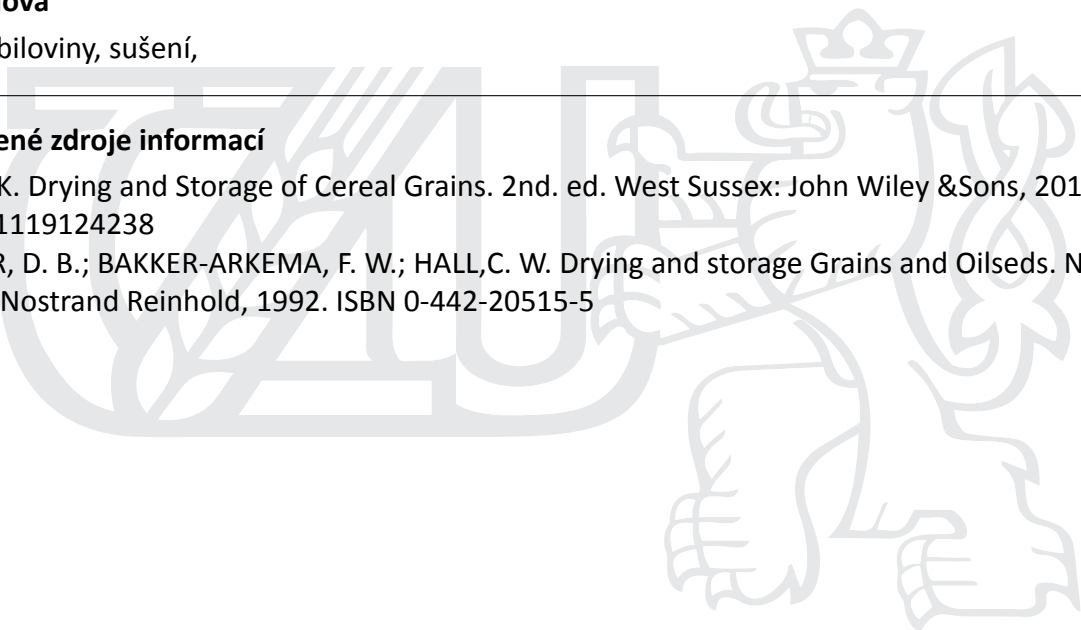
Klíčová slova

čištění, obiloviny, sušení,

Doporučené zdroje informací

BALA, B. K. Drying and Storage of Cereal Grains. 2nd. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2017. ISBN 9781119124238

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage Grains and Oilseds. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. ISBN 0-442-20515-5



Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 10. 1. 2017

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2019

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Posklizňová úprava obilovin“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne:

Petr Hovorka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Neubergerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, za vstřícný přístup a zejména také za čas, který mi věnoval.

Dále chci poděkovat své manželce a dceři za trpělivost a morální podporu během studia, svým kolegům v zaměstnání, jejichž dlouholeté praktické zkušenosti v oboru byly cenným zdrojem informací.

Abstrakt: Tato práce je stručným přehledem základních technologií posklizňové úpravy zrnin. Obsahuje popis strojních zařízení používaných při příjmu, zpracování, uskladnění a expedici. Uvádí fyzikální parametry zrnin potřebné pro jejich bezpečné skladování. Vysvětluje význam jednotlivých operací posklizňového zpracování a vazby mezi nimi. Mapuje historický vývoj některých technologických postupů, strojů a zařízení používaných při posklizňovém zpracování zrnin. Stručně popisuje typy sušáren a vliv druhu zpracovávané zrniny, lokality a legislativních požadavků na výběr typu sušárny. Uvádí přehled spotřeb energií jednotlivých typů sušáren využívaných ve společnosti ZZN Polabí, a.s. v letech 2016 a 2017.

Klíčová slova: zrniny; čištění; sušení; energie

Post-harvest activities related to cereals

Summary: This thesis is a brief overview of basic technologies of post-harvest grains treatment. Contains a description of the machinery used for receiving, processing, storing and expedition. It shows on needed physical parameters of the grains for their safe storage. It explains the importance of individual post-harvest processing operations and the links between them. It maps the historical development of some technological processes, machines and equipment used in post-harvest grains processing. It briefly describes the types of dryers and the influence of the kind of grains processed, the location and legislatives requirements for the choosing type of dryer. It gives an overview energies of the consumption of individual types of dryers used in the company ZZN Polabí, a.s. in 2016 and 2017.

Keywords: grains; cleaning; drying; energy

OBSAH

1	Úvod	1
1.1	Význam zrnin.....	1
1.2	Požadavky na skladování.....	1
1.3	Produkce zrnin	2
2	Cíl práce.....	3
3	Materiál a metody.....	4
3.1	Skladování	5
3.1.1	Obilní síla	6
3.1.1.1	Systémy provzdušnění sil.....	8
3.1.2	Skladové haly	11
3.1.2.1	Systémy provzdušnění skladových hal	11
3.2	Dopravní cesty	13
3.2.1	Šnekové dopravníky	14
3.2.2	Pásové dopravníky.....	16
3.2.3	Redlery	16
3.2.4	Korečkové elevátory.....	20
3.2.5	Příjmové koše	22
3.2.6	Expediční zásobníky.....	23
3.3	Předčištění a čištění	23
3.3.1	Předčištění	24
3.3.2	Čištění a třídění zrnin	27
3.4	Sušení.....	35
3.4.1	Přirozené sušení.....	35
3.4.2	Umělé sušení neupraveným vzduchem – aktivní větrání, odvlhčování	36
3.4.2.1	Vliv výpočetní techniky	40
3.4.3	Teorie sušení upraveným vzduchem	40

3.4.3.1	Vypařování	40
3.4.3.2	Odpařování	41
3.4.4	Umělé sušení upraveným vzduchem – konvekční sušení	42
3.4.5	Technologie sušení zrnin přehřátým vzduchem	45
3.4.6	Sušárny	45
3.4.6.1	Konvekční sušárny	46
3.4.6.2	Horizontální sušárny	47
3.4.6.3	Kontinuální sušárny se štěrbinovým ložem	47
3.4.6.4	Věžové sušárny	47
3.4.6.5	Šachtové sušárny	48
3.4.6.6	Mobilní sušičky	51
3.4.6.7	Historie sušení	51
4	Výsledky a diskuse	52
5	Závěr	54
6	Citovaná literatura	57
7	Seznam obrázků	59
8	Seznam tabulek	60
9	Seznam příloh	61

1 ÚVOD

Zrniny jako jsou obilniny, olejniny a píce jsou člověkem nejdéle pěstované a zušlechtované rostliny. Dějiny pěstování zrnin jsou zároveň dějinami zemědělství, dějinami vzniku, rozvoje a tříbení lidských společností.

1.1 Význam zrnin

Obiloviny, olejniny a kukuřice jsou dnes nejrozšířenějšími rostlinnými skupinami pěstovanými po celém světě. Jejich význam je zásadní a pro stravování lidí i zvířat si získaly nezastupitelné postavení.

V potravinářském průmyslu jsou dnes používány prakticky všechny druhy zrnin jako základní surovina pro výrobu mouky, cereálních výrobků, sladu pro výrobu piva i dalších primárních surovin nenahraditelných nejen pro výrobu alkoholu určeného ke konzumaci, ale i pro stále rostoucí potřebu s průmyslovým využitím nahrazujícím fosilní paliva, škrob pro výrobu náhrad běžných plastů za biodegradovatelné a mnoho dalších technologicky vyspělých výrobků. Olejniny mají již dnes nemalý význam jako komponent v automobilových palivech a mazivech, ale i v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu.

1.2 Požadavky na skladování

Důležitým aspektem pro následné využití v dnešní náročné době je splnění všech požadavků současných výživových parametrů. Při pěstování, sklizni i skladování je nutné řešit mnoho problémů, aby si výsledný produkt zachoval své přirozené nutriční i další vlastnosti odpovídající jeho finálnímu využití.

Vzhledem k sezónní produkci zrnin a celoročnímu průběžnému požadavku na jejich finální zpracování je nedílnou součástí zemědělské činnosti skladování. Potřeba skladování se časově různí a vychází jednak z momentální potřeby ovlivněné poptávkou koncového spotřebitele, ale i z termínu a délky žní.

Dalším faktorem ovlivňujícím dobu skladování jsou použité skladovací prostory, a hlavně jejich technologické vybavení. Skladovací prostory jsou využívány celým výrobně obchodním spektrem v zemědělství, potravinářství i agrochemickém průmyslu od zemědělských prvovýrob přes nákupní sklady a mlýny až po chemičky a lihovary. Jedná se o významné zemědělské

stavby ne zřídka navázané na technologická zařízení s různým zaměřením dle stavu a potřeb konkrétního produktu.

Doba skladování a další využití jsou výchozími parametry určujícími maximální hodnotu významné fyzikální vlastnosti zrna, a to obsahu vody. Vysoký obsah vody, délka skladování, přístup kyslíku a teplota zrniny jsou příčinou vzniku plísní a tím znehodnocení skladovaného zrna.

Nejjednodušším a logicky nejběžnějším způsobem, jak dodržet předepsanou hodnotu vlhkosti zrna, je přizpůsobit sklizeň jeho vlhkosti neboli počkat na vhodný okamžik sklizně. To však není zcela reálné, a i když se o to v maximální možné míře prvovýrobci snaží a dnešní sklízecí technika jim v tom jde naproti, je ve většině případů nutností, aby posklizňové linky umožňovaly zrniny dosoušet.

1.3 Produkce zrnin

V roce 2009 uvedla Organizace pro výživu a zemědělství, že do r. 2050 bude světové zemědělství čelit nutnosti vyprodukovat o 70 % více potravin pro dalších 2,3 mld. lidí (z 6,8 mld. v r. 2009 na 9,1 mld. v r. 2050). Přitom zároveň bude nutné využívat přírodní zdroje lépe adaptované na klimatické změny. To jsou hlavní výzvy nadcházejících desetiletí (FAO, 2009).

Mezi důležité technické výzvy patřilo i patří zpracování zrnin po sklizni před uskladněním s co možná nejmenšími nároky na vložené energie a s maximálním výnosem prvojakostních produktů.

Aby se užívala zvyšující se lidská populace, je nutné celosvětově zvyšovat roční výnosy o dvě procenta. To vede vědce ke snaze přechíst genom pšenice a ječmene, aby ho mohli potom dále upravovat (Doležel, 2011).

V marketingovém roce 2013/14 dosáhla světová produkce obilovin 2,499 miliard tun, tento údaj byl o 8,4 % vyšší než v roce předchozím (2,305 mld. t) a zhruba 6 % nad rekordní úroveň z roku 2011 (2,352 mld. t). Byla předpokládána nová rekordní úroveň globální produkce pšenice 710,8 mil. tun, meziroční vzrůst o 7,8 % a tedy oživení produkce v zemích SNS po loňském suchu. Světová produkce hrubých zrnin meziročně vzrostla o 12 % na rekordních 1295 miliónů tun. Především v USA se očekával výstup produkce kukuřice na nejvyšší úroveň v historii (355 mil. t), následovala EU, Ruská federace a Asie. Na straně globální poptávky obilovin FAO v roce 2013 předpokládala meziroční nárůst o 4 % na 2,413 miliard tun, oproti

prognóze z listopadu 2012 (2,418 mld. tun). Globální zásoby se plánovaly o 13,5 % vyšší než v roce 2012. Plánovaný poměr zásob a využití, jako procento z celkové poptávky, byl 23,5 %, ve srovnání s minimem 18,4 % registrovaným v roce 2007/08. Celosvětový obchod obilovin se v roce 2013 očekával ve výši 317,8 mil. tun, což odpovídalo meziročnímu nárůstu o 2,7 % (X-Trade Brokers, 2013)

Z výše uvedeného a celkové světové populační expanzi je jasné, že se poptávka po potravinách bude zvyšovat, a to geometrickou řadou. Tím se budou zvyšovat i nároky na zpracování sklizňové produkce.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je

- krátce zmapovat historický vývoj posklizňové úpravy zrnin
- vytvořit přehled nejčastěji využívaných čističek a sušáren ve světě a v ČR
- vyhodnotit technické parametry vybraných typů sušáren
- posoudit sušárny dle:
 - o využívaného paliva
 - o způsobu sušení
 - o vlivu předřazených operací na proces sušení
- stanovení měrných nákladů na snížení vlhkosti zrnin při použití různých typů sušáren (v rámci technických možností a určení vyprodukované zrniny)
- nastínit trendy dalšího vývoje technologií, které jsou využívány v oboru šušárenství zrnin.

3 MATERIÁL A METODY

V rámci této práce je třeba proniknout do problematiky uskladnění zrnin po sklizni před další expedicí a konečným zpracováním. Nároky na fyzikální vlastnosti zrniny před uskladněním pro zachování nutričních a kvalitativních požadavků zrniny předurčují její zpracování. Jedním z nejdůležitějších parametrů, ne-li nejdůležitější, je správná úroveň vlhkosti pro bezpečné skladování.

Hlavní kroky metodiky spočívají v identifikaci problematiky posklizňového zpracování zrnin po příjmu, zvážení a otestování laboratoří.

Bude popsána manipulace se sklizenými zrninami a specifika jednotlivých činností. Popsány budou i technologické postupy tak, jak jsou prováděny v současných podmínkách. Důraz bude kladen na reálný obraz posklizňového zpracování v nákupních a prvozpracovatelských společnostech českého zemědělství ve srovnání s postupy nedávnými i s postupy z dob počátků zemědělské výroby a zpracování zemědělských produktů rostlinné výroby s omezením na zrniny.

Teoretické údaje a postupy publikované nejen v odborné literatuře, ale i v propagačních materiálech výrobců specializovaných na zemědělský průmysl budou shrnuty a zmapovány ve skutečných provozech.

Získané poznatky a praktické zkušenosti z českých zemědělských společností budou porovnány s teorií, s historickými postupy, s vlivem ekonomických možností a legislativních požadavků na pracovní podmínky a životní prostředí v oblastech se zemědělskou druhovými výrobou.

Výsledky srovnání teorie a reálných provozů s vlivem vnějších vstupů, ať již se jedná o ekonomiku, legislativu, lokalitu či ne nevýznamný podíl počasí na efektivitě a chuti do nových investic povedou ke zhodnocení a určení nejvhodnějších způsobů posklizňového zpracování zrnin. Jsou předpokládány vysoké odchylky mezi jednotlivými provozy dané nejen schopností investovat do nových technologií, ale právě vnějšími vlivy v podobě počasí, trhu, legislativy a podpory v podobě dotačních titulů.

Tato zhodnocení, teoretické postupy založené na možnostech a efektivitě dnešních technologií, ale i perspektiva oboru, jakým zemědělství bezesporu je, dovolí predikovat vývoj a vliv moderních technologií na posklizňové zpracování zrnin.

3.1 Skladování

Dlouhodobé a bezpečné skladování obilovin je možné, pokud je vlhkost zrna menší než 14 % a je uložena mimo hmyz, hlodavce a ptáky. Následující tabulka představuje doporučený obsah vlhkosti pro bezpečné skladování obilovin (IRRI, 2009) (*Tabulka 1*).

Tabulka 1 – Doba skladování v závislosti na vlhkosti

Doba skladování	Požadováno MC pro bezpečné uložení	Potenciální problémy
Týden až několik měsíců skladování	14% nebo méně	Formy, změna barvy, ztráta dýchání, poškození hmyzem, adsorpce vlhkosti
Skladování po dobu 8 až 12 měsíců	13% nebo méně	Poškození hmyzem
Skladování osiva farmáře	12% nebo méně	Ztráta klíčivosti
Skladování po dobu delší než 1 rok	9% nebo méně	Ztráta klíčivosti

Zdroj: (IRRI, 2009)

Přípustná vlhkost zrniny pro bezpečné skladování je také ovlivněna obsahem nečistot v mase zrniny. Plevle, zelené části rostlin a další nečistoty mají obvykle vyšší vlhkost.

Některé zdroje uvádějí bezpečnou skladovatelnost vyčištěných obilovin s vlhkostí do 15 % s doplňujícím limitem 10 % pro semena obsahující větší podíl tuku, jako jsou například řepka olejka a nahý oves, a produkty trpící zaplísněním (pohanka, proso, amarant). Ačkoli se uváděný podíl vlhkosti v různých zdrojích liší, základním předpokladem bezztrátového skladování semenných plodin je produkt s minimem nečistot ze sklizně a následné předčištění, které odstraní co největší podíl plevných semen, zelených částí rostlin, zlomků zrn i dalších nečistot. Nečistoty a příměsi mají obvykle, a to i po sušení, vyšší vlhkost, díky čemuž se daří rozvoji a šíření nežádoucích škůdců, chorob, plísní a bakterií.

Nejen vlhkost, ale i teplota skladovaného materiálu ovlivňuje tvorbu nežádoucích a škodlivých mikroorganismů, plísní a životní podmínky pro množení škůdců v podobě různých životních stádiích hmyzu.

Čím vyšší je vlhkost a teplota skladovaného obilí, tím intenzivněji obilní masa dýchá. Přitom dochází ke ztrátám vlivem odbourávání bílkovin a škrobu. Uvolňuje se vnitřní voda, teplota

obilí vzrůstá a vzniká vhodné klima pro rozvoj bakterií a plísní rozkládajících skladované zrniny. Masa zrniny zapáchá, dále se zahřívá a některé houby tvoří i jedovaté mykotoxiny, které mohou těžce poškodit zdraví lidí i zvířat. Plesnivé obilí je z toho důvodů pro krmné účely nepoužitelné. Ve skladované zrnině musí být pravidelně měřena teplota a vlhkost, kontrolován případný zápach a přítomnost hmyzích škůdců a případně provzdušněním nebo jiným způsobem ochlazena. Nejpříznivější skladovací teploty pro obilniny jsou 5-10°C. Teploty nad 20°C nesmí být překročeny. (Kalinová, a další, 2007).

V dnešní době se pro skladování zrnin používají dva základní způsoby dlouhodobého skladování, a to halové skladování a skladování v obilních silech. Od skladování v podlahových hrád'ových skladech a sýpkách používaných v minulosti se díky vývoji ve stavebnictví a k poměrně velkým stavbám s malou skladovou kapacitou v ČR s nástupem zemědělských nákupních podniků od 60. let začalo ustupovat.

3.1.1 Obilní sila

Soustředěný zemědělský nákup a zásobování a státní financování (*Příloha 1*) umožnily výstavbu velkokapacitních betonových sil (*Obrázek 1*). Obdivuhodné je, že už v roce 1967 (rok výstavby sila na obrázku) tehdejší stavební technologie, inženýři a stavební dělníci dokázali kompletní nadzemní část celobetonového sila s výškou skladové části 47 m postavit za pouhé 3 měsíce. Lití betonu bylo nepřetržité. Ve spodní části mají šestiboké buňky tloušťku stěny 140 mm, v horních partiích pak pouhých 100 mm.

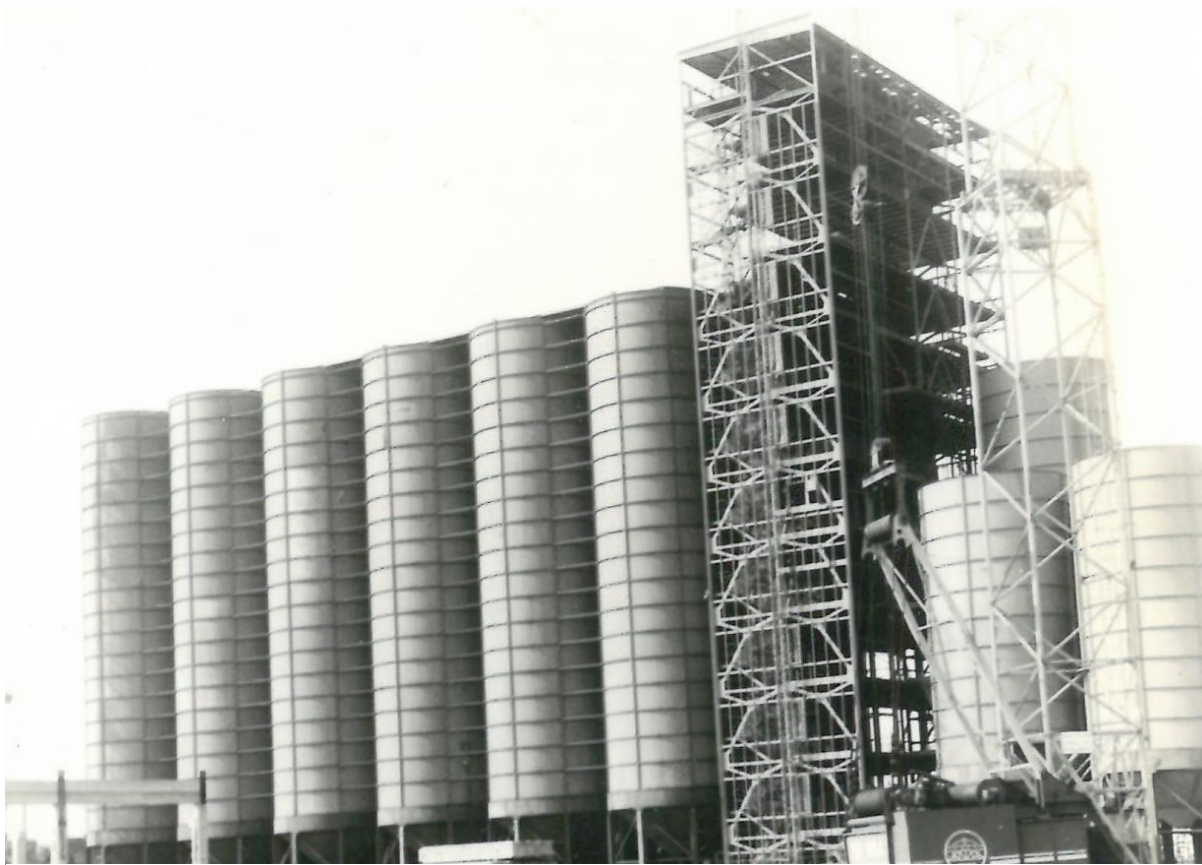
Obrázek 1 – Betonové silo 21kt, Kolín 1968



Zdroj: Archiv ZZN Polabí, a.s.

Následujícím vývojovým stupněm byla o pár let později stavěná sila ocelová (Obrázek 2).

Obrázek 2 – Výstavba ocelového sila 50kt, Kolín 1984



Zdroj: Archiv ZZN Polabí, a.s.

V dnešní době, kdy je financování sil věcí soukromého sektoru, má své slovo i ekonomická stránka. Z toho důvodu se převzal vzor skladových sil zemí západní Evropy, ale hlavně Ameriky, a začal poměrně masivní nárůst výstavby ocelových sil s technologiemi dopravních cest umístěných vně vlastní stavby sila. Samozřejmě i v mezidobí vznikala nízkokapacitní, ale už prakticky výhradně ocelová, sila typu Štolfa s kapacitou 2,8 kt nebo vítkovická sila VŽKG se smaltovanými zásobníky a kuželovou výpustí. Průřez vývojem skladování na středisku Klučov u Českého Brodu v silech Štolfa – 2,8kt, VŽKG – 3,2kt a Brock – 5kt od 60. let do roku 2016 (Obrázek 3) je názornou ukázkou vývoje skladování a posklizňové úpravy za více než 50 let soustředěnou na jednom místě.

Obrázek 3 –Sila Brock, Štolfa, VŽKG, Klučov 1960 až 2016



Zdroj: Foto Petr Hovorka

3.1.1.1 Systémy provzdušnění sil

Jak již bylo zmíněno, masa skladované zrniny musí být provzdušňována, aby nedocházelo ke zvyšování teploty ve skladované zrnině.

Při provzdušňování je třeba důsledně měřit a sledovat teplotu zrniny, teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Pokud je při provzdušňování teplota vstupního vzduchu vyšší než teplota zrniny, dochází k jeho ochlazení. Jeho relativní vlhkost stoupá a při poklesu teploty pod teplotu rosného bodu vzniká nebezpečí kondenzace vodních par obsažených ve vzduchu na povrchu zrniny. Tím může docházet k dalšímu nárůstu vlhkosti zrniny. Riziko kondenzace vlhkosti obsažené ve vzduchu existuje i pokud je teplota vzduchu jen o málo nižší než teplota zrniny. Vzduch průchodem masou zrniny přijímá vlhkost a ohřívá se na teplotu, která je v horních vrstvách masy zrnin blízká teplotě vstupujícího vzduchu. V horních vrstvách je proto nebezpečí kondenzace vzdušné vlhkosti a následné zvýšení vlhkosti zrniny nejvyšší. V některých zdrojích je jako bezpečná hranice uvedeno pravidlo „pět stupňů“. Obilí smí být provětráváno, je-li teplota vstupujícího vzduchu nejméně o 5 °C nižší, než je teplota obilí (Kalinová, a další, 2007).

Kromě teploměrných kabelů a venkovních čidel zajišťujících spuštění provzdušňovacích ventilátorů při správném poměru teplot a venkovní vlhkosti jsou antikondenzační ventilátory. Tyto ventilátory odvětrávají vlhkost zkondenzovanou na vrchlících silových buněk. Při absenci

těchto ventilátorů dochází i při správném spodním provzdušňování ke skapávání kondenzované vody zpět do uskladněné zrniny. Vznikají klíčivá a hnilobná ložiska. Tato ložiska jsou velmi problematická i při následném vyskladňování sila. Tvoří slepence, které ucpávají výpustě sil.

Provzdušnění sil je základním předpokladem pro uchování kvality skladované zrniny. V silech s rovným dnem se používají převážně dvě řešení. Prvním řešením jsou provzdušňovací kanály, které jsou šalovány přímo v betonové základové konstrukci a zakryty ocelovým roštem (Obrázek 4).

Obrázek 4 – Betonáž provzdušňovacích kanálů, Chotětov 2015



Zdroj: Foto Jaroslav Krejbich

Nevýhody lokálního provzdušnění jsou zřejmé. Vznikají zde oblasti, které nejsou stejnoměrně provětrávány. Základová betonová konstrukce, ve které je třeba vytvořit systém kanálů s výstupy mimo silo pro připojení ventilátorů a kanál pro vyskladňovací dopravník je výrazně složitější a dražší. Díky kanálům je nutná instalace dvou provzdušňovacích ventilátorů. Vzniká zde nebezpečí vzlínání vlhkosti do skladované zrniny ležící přímo na betonovém základu. Betonový základ přesahuje půdorysný obrys ocelového pláště sila. Po silo za deště stéká voda

na betonový sokl a do silové buňky. Poslední a nejzávažnější závadu lze eliminovat nadbetonováním soklu po instalaci ocelového pláště uvnitř buňky.

Druhé řešení spočívá v perforované ocelové podlaze po celé ploše dna sila. Ocelová podlaha je obvykle tvořena plechovými pásy šíře cca. 15 až 20 cm, které jsou tvarovány do zámků. Montáž podlahy spočívá ve skládání jednotlivých pásů zámky do sebe na podpěry. Podpěry jsou nejčastěji v podobě betonových hranolků nebo ocelových rámu s příčkami, jakými jsou žebříky položenými na bok. Podpěry zajišťují volný prostor pod podlahou a tím odstup spodní vrstvy obilí o betonového základu sila (*Obrázek 5*).

Obrázek 5 – Montáž celoprovzdušněné podlahy, Křinec 2018



Zdroj: Foto Petr Hovorka

Provzdušnění sil s kuželovým dnem je technicky složitější. U betonových a ocelových sil budovaných ve druhé polovině 20. století nebylo obvykle aktivní větrání instalováno a větrání a chlazení skladované zrniny se řešilo přepouštěním mezi buňkami. To má nevýhody v energetické náročnosti procesu. Dochází také k poškození zrna při manipulaci v dopravních cestách.

Dnes se výdechy aktivního větrání dodatečně instalují po obvodu kuželu výpustě buňky. Technické provedení se různí více či méně dle nápadu a zkušeností projektanta nebo konstruktéra. Problémem jsou značné síly působící na konstrukci výdechu provzdušnění uvnitř kuželu od masy zrniny při vypouštění buňky.

3.1.2 Skladové haly

Alternativou ke skladování v silech jsou skladové haly. Jejich výhodou je multifunkční využití, celkově nižší pořizovací náklady, využitelnost pro skladování zrnin s omezenou výškou skladování jako je například sladovnický ječmen. Je i jednodušší stavební řízení při výstavbě, někdy je to i jediná možnost díky výškovému omezení v určitých lokalitách, ať už z estetických, historických či územně plánovacích důvodů.

Nezanedbatelnou výhodou je i rychlost příjmu zrnin v období sklizně, kdy dopravní technika od sklízecích mlátiček vysypává zrninu přímo do haly a rychlost příjmu tak není omezena rychlostí dopravních cest.

3.1.2.1 Systémy provzdušnění skladových hal

Pokud je vlhkost sklizené zrniny pod bezpečnou hranicí pro skladování, není nutné ihned po sklizni zrniny upravovat, případně sušit. Výkonnost posklizňových linek tedy obvykle nedosahuje rychlosti přísunu zrniny při sklizni. Doba sklizně je v průměru 10 až 15 dní. Zpracování posklizňovou linkou je většinou v rozsahu 20 až 25 dní. Pokud je vlhkost zrniny nad přípustnou hladinou, je nutné v co nejkratší době přistoupit ke zpracování na posklizňové lince, případně intenzivně větrat nebo jinak konzervovat (Kumhála, 2007).

Násypná výška zrnin je nejčastěji 4 m, ale výjimečně se setkáváme i s výškou až 6 m. V podlahových skladech se skladovalo ve vrstvách do 3 m. Rozpon hangárových skladů je nejčastěji 12 nebo 18 m, modul 6 m a celková délka haly 60 až 90 m. Skladovací kapacita zrnin bývá u hangárového skladu až 10 000 tun uskladněného zrna, u podlahových skladů byla v rozsahu 3 000 až 3 500 tun.

Některé skladové haly ještě disponují naskladňovací technologií ze 60. a 70. let minulého století. Dnešní výkonná kolová manipulační technika dokáže naskladnit zrniny do výšky 4 m i více. Z tohoto důvodu je využití naskladňovacích technologií nerentabilní. Nevýhodou těchto technologií je i reálné snížení světlé výšky haly, potřebné pro další manipulaci se zrninou ve vnitřních prostorech skladů. Kolová technika a skladové haly umožňují zvýšení rychlosti příjmu zrnin v období sklizně.

V zahraničí je rozšířeno naskladňování podlahových skladů pneumatickými dopravníky. Pneumatické dopravníky je možné využít jak při naskladňování, tak i při vyskladňování nebo jako paralelní podpory stávající technologie ve žňové špičce (Skalický, a další, 2008).

V minulosti se hojně využívaly vkládané kanály a provzdušňovací jehly, dnes je tento způsob v provzdušnění zrnin nahrazován na obsluhu méně náročnými způsoby. Provzdušnění skladované zrniny je nejčastěji realizováno provzdušňovacími kanály v podlaze haly překrytými perforovaným ocelovým plechem za použití axiálních či radiálních ventilátorů. Stejný princip je využíván i u sil, kapitola 3.1.1 *Obilní sila*. Pravidla a výpočty pro potřebný tlak a rozteč ventilátorů jsou zmíněny v kapitole 3.4.2 *Umělé sušení neupraveným vzduchem*.

Výhody celoplošného provzdušnění (*Obrázek 5*) popsaného v předešlé kapitole se postupně uplatňují i ve skladovacích halách. Haly s celoprovzdušněnou podlahou jsou zatím posledním stupněm vývojové řady provzdušnění hal. Vývoj a jednotlivé způsoby provzdušnění jsou znázorněné na fotografii modelu prezentovaného během zemědělského veletrhu v roce 2015 (*Obrázek 6*).

Obrázek 6 – Varianty provzdušnění zrnin, Veletrh Hannover 2015



*Zleva: Silo – provzdušňovací jehly; celoprovzdušněná podlaha
Hala – jehly; nadúrovňové kanály; podúrovňové kanály; celoprovzdušněná podlaha.*

Zdroj: Foto Petr Hovorka

3.2 Dopravní cesty

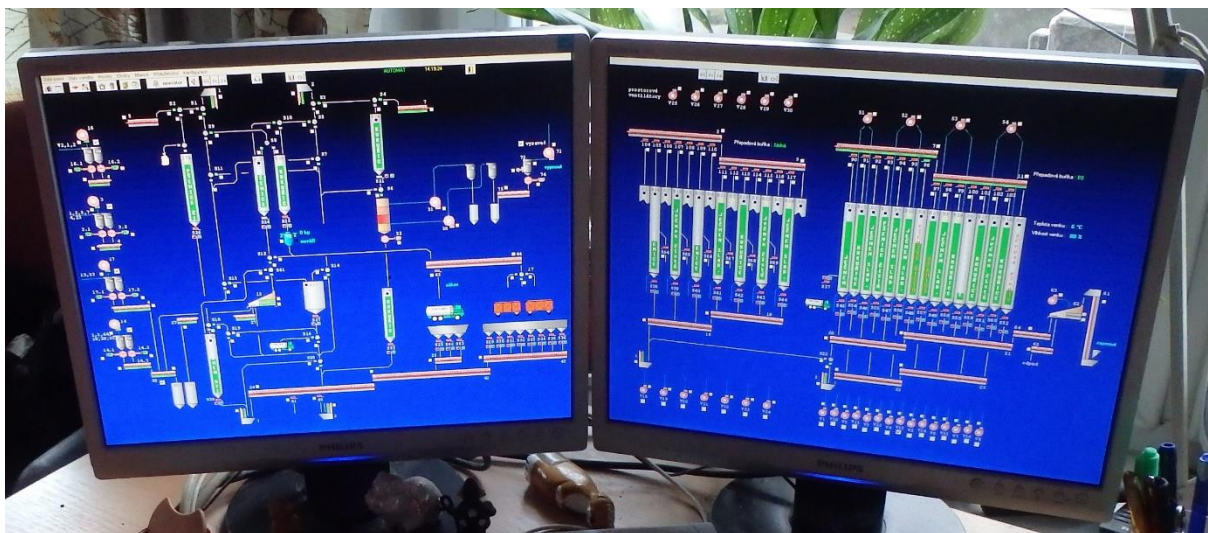
Dopravní cesty prvních posklizňových linek slouží k dopravě zrniny z místa příjmu zrniny, mezi jednotlivými výrobně a zpracovatelsky funkčními členy posklizňové úpravy, dopravu do a z místa skladování a do místa expedice.

Vnější kvalita zrna je v praxi ovlivňována především použitými dopravníky při posklizňovém zpracování. Nevhodně zvolené dopravníky mají sklon k poškozování zrna. Většinu z nepříznivých vlivů lze eliminovat vhodnou skladovací a dopravní technikou a omezit tak nebo předejít poškození (Malat'ák, a další, 2012).

Součástí dopravních cest posklizňových linek jsou aktivní a pasivní prvky. Aktivními prvky jsou vodorovné a svislé dopravníky, pasivními jsou spádová potrubí. Součástí dopravních cest jsou i dvou, tří, či vícecestné rozbočovače, výpady z dopravníků a další přechodové prvky.

Pro orientaci obsluhy v dopravních cestách, které jsou prostorově uspořádány, slouží 2D technologické schéma (Příloha 2). Tato schémata jsou nedílnou součástí dokumentace posklizňové linky a vychází z nich grafika řídicího pultu nebo dnes již monitoru počítačového řídicího systému (Obrázek 7).

Obrázek 7 – Řídicí monitor sila 21kt, Kolín 2016



Zdroj: Foto Petr Hovorka

Vodorovná doprava je zajištěna šnekovými, pásovými nebo řetězovými dopravníky (redlery). Svislou dopravu zajišťují kapsové dopravníky (korečkové elevátory).

Alternativou k zažitým systémům dopravy zrnin převzatým z historických skladovacích budov a sil s integrovanou technologií uvnitř stavby jsou obilní pumpy.

Obilní pumpy jsou trubkové nekonečné řetězové dopravníky určené pro vertikální a horizontální přepravu zároveň. Zajišťují rychlé a šetrné naskladnění a vyskladnění zrnin. Konstrukce je tvořena uzavřeným okruhem a pohyb materiálu obstarávají kruhové plastové unášedce. Zrninu lze přijmout z dopravních prostředků, naskladnit, vyskladnit a naložit na dopravní prostředky. Tento systém je možné využít i pro modernizaci stávajících skladovacích systémů. Výkonnost dosahuje 80 až 250 t/h (BEDNAR FMT s.r.o., 2018).

Výhodou tohoto systému je jednoduchost, cena a rychlost dopravy zrnin. Nevýhodou je provádění pouze jedné technologické operace v reálném čase. Další nevýhodou je závislost celého systému na jednom zdroji, který je vždy v plném odběru energie. V případě jakékoliv poruchy stojí celá linka.

Klasické systémy jsou sice stavebně složitější, investičně dražší, vzhledem k prostorovému uspořádání i komplikovanější na pochopení činnosti obsluhou, ale v případě dobře navrženého systému jejich variabilita mnohdy dokáže zajistit nepřerušovaný provoz linky i při lokální poruše.

3.2.1 Šnekové dopravníky

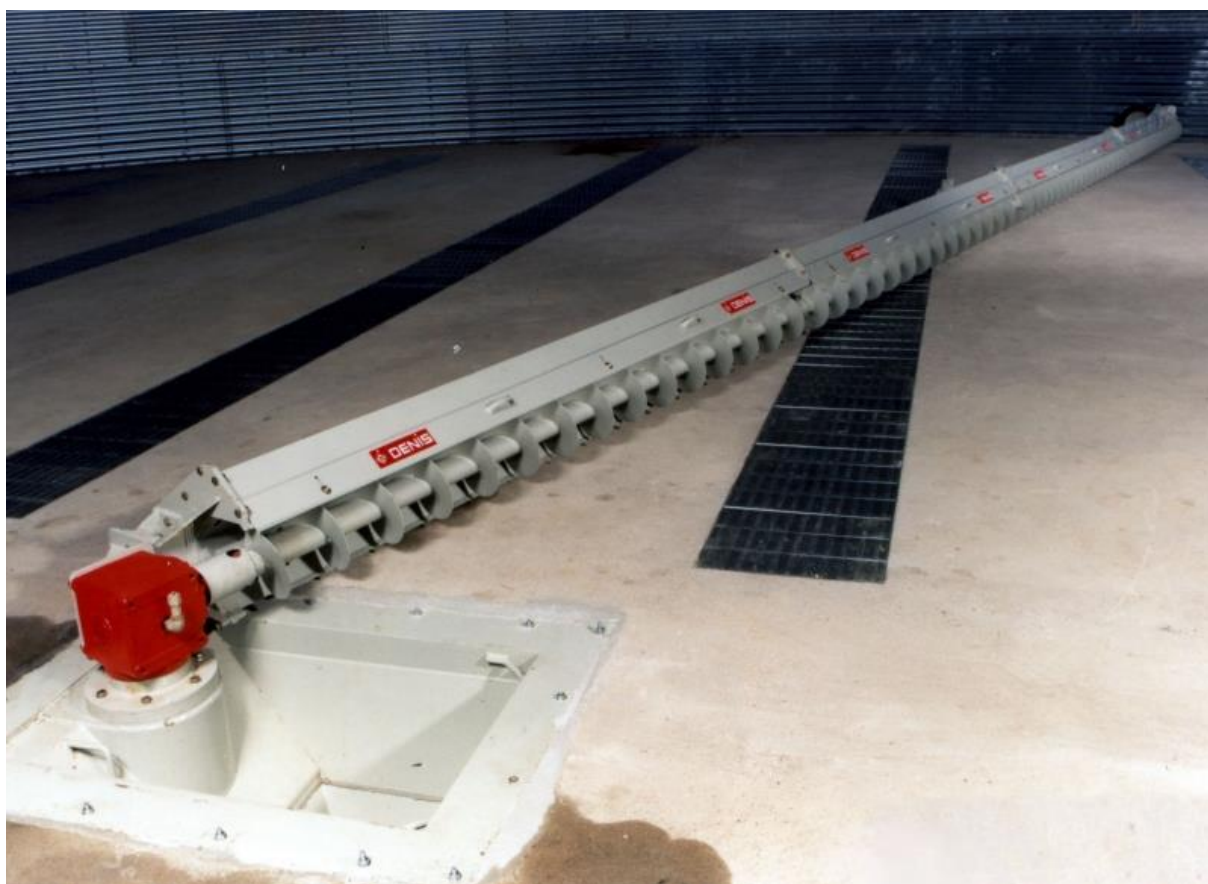
Šnekové dopravníky se v moderních posklizňových linkách využívají převážně pro dopravu nezužitkovatelného odpadu od čističek do prachové komory. Dalším jejich využitím jsou vybírací frézy sil s plochým dnem. Na krátké vzdálenosti se používaly pro vodorovnou i šikmou dopravu, například pro dopravu ze sila do sběrného redleru nebo pásu.

Vzhledem k poškozování zrna se do nově realizovaných posklizňových linek pro dopravu jakostního produktu zařazuje jen výjimečně. Výhodou šnekových dopravníků je jednoduchost a těsnost. To je předurčuje pro dopravu prachových částic. Nevýhodou je již zmíněné poškozování zrna, vyšší energetická náročnost díky tření šnekovnice o žlab a tím i vysoké opotřebení, u delších vzdáleností je to i nutnost použití středového uložení, aby se zabránilo vybočování a lokálnímu opotřebení.

Šnekové dopravníky poškozují především sladovnické ječmeny, kterým ulamují klíčky. K největšímu poškození klíčků sladovnických ječmenů dochází ve šnekových dopravnících s uzavřeným žlabem. Ve stávajících posklizňových linkách obvykle nejsou využívány pro dopravu jakostního produktu. V poslední době se objevují v jednoduchých posklizňových

linkách. Množství zlomků je v rozmezí 0,09 až 0,32 %, celkové mechanické poškození dosahuje 0,63 až 1,58 % (Malat'ák, a další, 2012). Šnekové dopravníky s uzavřeným žlabem mají na rozdíl od korečkových elevátorů spíše sklon k drcení než k lámání zrna. Drcení je způsobeno třením dopravovaného zrna o žlab. Používání šnekových dopravníků u posklizňových linek se nelze zcela vyhnout. Jsou využívány zejména v případě vyskladňování věžových zásobníků a použití šnekového dopravníku v oběžném provedení (Obrázek 8).

Obrázek 8 – Vybírací šneková fréza



Zdroj: www.romill.cz

V tomto případě jde o typ s částečně uzavřeným žlabem, který vykazuje na rozdíl od provedení s uzavřeným žlabem výrazně nižší poškození zrna. Vyskladňování zrna ze sil s rovným dnem pomocí šnekových dopravníků je stále nejrozšířenější variantou s nízkými pořizovacími náklady. Nejeftivnější způsob vyskladnění sila to ale není. Dnešní technologie nabízejí nová řešení. Jedním z nich je použití výkonnějších řetězových vybíracích fréz. Budou zmíněny v kapitole 3.2.3 Redlery.

3.2.2 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky jsou naopak k přepravovanému zrně velmi šetrné, poškození zrniny je minimální a pohybuje se mezi 0,02 až 0,09 % (Malat'ák, a další, 2012). Jejich výhody jsou konstrukční jednoduchost, nízká hlučnost, energetická nenáročnost, doprava na velké vzdálenosti a rychlost dopravy. Nevýhodou jsou složitá zařízení pro výpad z pásu mimo konec dopravníku. U hladkého pásu je možná pouze vodorovná nebo mírně šikmá doprava (sklon je stanoven součinitelem tření mezi pásem a přepravovanou zrninou). Díky nezapouzdřené konstrukci jsou pásové dopravníky velmi prašné. Pro jejich šetrnost k zrně jsou používány pro dopravu osiv a ve starších silech, kde se v současné době nahrazují bezprašnými redlery. Využití dnes mají především díky korozivní odolnosti nosného prvku – pásu v dopravnících průmyslových zemědělských hnojiv.

3.2.3 Redlery

Řetězový dopravník (redler) je mechanický dopravník, který dopravuje materiál uzavřeným žlabem pomocí řetězu s unášeči. Průřez žlabu je větší, než je čelní plocha unášeče. Patří mezi dopravníky, které zrno hrnou, u nichž není materiál nesen, ale je posouván v plechovém žlabu. Tažným prvkem je speciální obvodový řetěz vedený přes hnané a napínací řetězové kolo v uzavřeném plechovém žlabu.

U redlerů provozovaných při nižším, než jmenovitém zatížení je uváděno vysoké poškození zrna. Množství zlomků se pohybuje v rozmezí 0,09 až 0,13 % s celkovým mechanickým poškozením v rozsahu 0,23 až 0,31 %. Při plně nevyužití dopravní kapacity je poškození zrna výrazně vyšší, a to v rozsahu 1,78 až 1,98 %. Redlery nemají tak výrazný sklon k vytváření zlomků, ale k celkovému mechanickému poškození dopravovaného zrna. K poškození dopravovaného zrna dochází při vpádu zrna do dopravníku, při jeho vlastní dopravě i při výpadu z dopravníku. Velikost poškození zrna závisí na délce řetězového dopravníku (redleru) (Malat'ák, a další, 2012).

Poškození zrna v redlerech lze eliminovat úpravou konstrukce redlerů. Dnes používané redlery se dodávají na přání doplněné o plastové výstelky (dna redlerů) nebo lze tímto způsobem upravit i redlery stávající. Používané plasty PTFE nebo modifikované typy PE s vysokou molekulovou hmotností (UHMW-PE) zajistí nižší tření mezi přepravovaným zrnem a dnem řetězového dopravníku, běžně ocelovým.

Instalací pohonné jednotky redleru s proměnlivými otáčkami, nebo doplněním stávajících redlerů o pulsní měniče, lze zajistit optimální plnění redleru a tím dále omezit poškození zrna provozem o nižším výkonu.

Uzavřená konstrukce s dvojitým dnem a bezezbytkovou dopravou jejíž průřez je zaplněn obvykle z jedné třetiny přepravovaným zrnem je velmi jednoduše rozšiřitelná o aspiraci. Takto upravené redlery zlepšují kvalitu masы zrniny díky přidanému odsávání prachových částic. Aktivní aspirace nejen vyrovná přetlak vzduchu v redleru vzniklý převážně dopravou zrna elevátorem, ale zajistí při správně navrženém výkonu sacího ventilátoru mírný podtlak. Podtlak v dopravních cestách výrazně snižuje prašnost posklizňové linky.

Redlery jsou v dnešní době nejvíce využívanými vodorovnými dopravníky při výstavbě nových posklizňových linek s vnějším umístěním technologie (*Obrázek 9*) a rekonstrukcích stávajících posklizňových linek. Vyjma shora citovaných vlastností stojí za zmínku jejich výhoda v těsné

Obrázek 9 – Posklizňová linka s příjmovou halou a sily 10kt Pawlica, Křinec 2018



Zdroj: Foto Petr Hovorka

konstrukci s přesahem víka přes boky (*Obrázek 10*) umožňující venkovní umístění bez hrozby zatečení dešťové vody. Je také výrazně snížena náročnost provozů na úklid.

Obrázek 10 – Montáž redleru



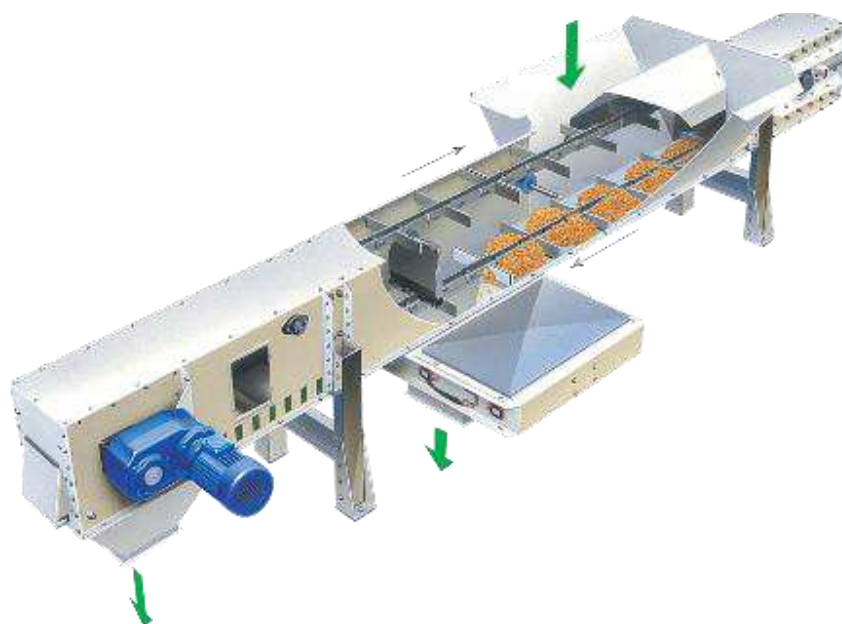
Zdroj: Foto Petr Hovorka

Redlery umožňují i šikmou dopravu, a dokonce i dopravu svislou. Vrstva dopravovaného materiálu však nesmí překročit určitou mez.

U vodorovných redlerů by při volbě příliš vysoké vrstvy nad unášeči řetězu bylo tření materiálu o stěny žlabu tak velké, že by řetěz byl materiálem „protahován“, aniž by dopravoval. Aby tento nepříznivý stav nenastal, nesmí při určitém poměru rozteče unášečů a výšky materiálu přesáhnout napětí ve vodorovné rovině přípustnou hranici (neznámý).

Správné plnění redlerů a znalost principu dopravy (Obrázek 11) jsou velice důležité. V dnešních automaticky řízených posklizňových linkách je kvalifikovaná obsluha obtížně nahraditelná z pohledu nastavení přepravní rychlosti a tím kapacity jednotlivých dopravníků posklizňové linky.

Obrázek 11 – Princip redleru



Zdroj: www.navzas.cz

Díky principu dopravy materiálu a konstrukci redleru nejsou výjimkou ani redlery zalomené. Touto konstrukcí se řeší nutnost výškového členění dopravní cesty při použití jednoho dopravníku a tím jednoho pohonu.

Oblibu řetězových dopravníků u konstruktérů i investorů dokazuje i jejich častější využívání jako vybíracího zařízení náhradou za šnekové ústrojí (Obrázek 8). Výhodou redleru, jako vybíracího zařízení ze sila, je nižší podíl nevyskladněného materiálu a tím úspora práce

obsluhy, jeho jednoduchá konstrukce s lopatkovým kolem zajišťujícím pohyb redleru po obvodu sila a efektivní provoz (Obrázek 12).

Obrázek 12 – Řetězový dopravník Skandia KTIS, veletrh Hannover 2015



Zdroj: Foto Petr Hovorka

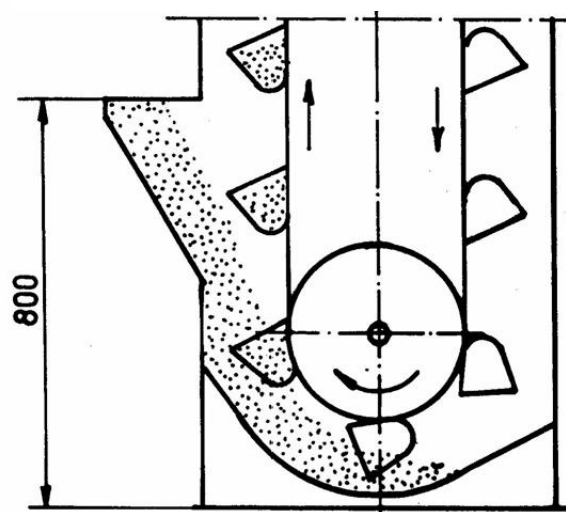
Redler je navíc možné použít ihned po vyprázdnění sila středovou výpustí, aniž by muselo být okolí dopravníku vyčištěno. Koště, které je umístěno pod dopravníkem, zanechá jen malé množství zrna (Skandia, 2018).

3.2.4 Korečkové elevátory

Korečkové elevátory (kapsové výtahy) se využívají pro svislou dopravu zrnin. Jedná se o dnes nejrozšířenější způsob dopravy „vzhůru“. Alternativou jsou obilní pumpy, pneumatická doprava a svislé redlery.

Množství zlomků u elevátorů se pohybuje v rozmezí 0,26 až 0,71 % a celkové mechanické poškození je uváděno v rozmezí 0,33 až 0,46 %. Uvedené údaje platí při protiproudém plnění korečků (Obrázek 13).

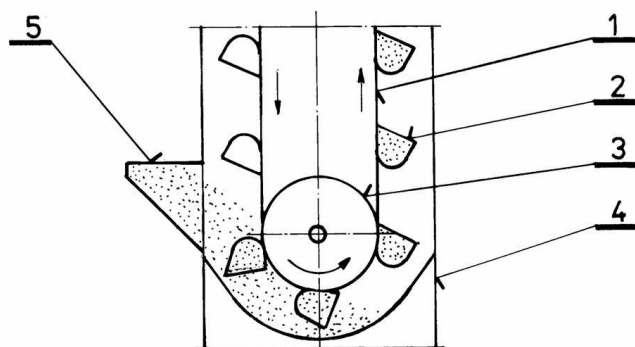
Obrázek 13 – Protiproudé plnění korečků



Zdroj: VÚZT, v.v.i.

Při souproudém plnění korečků (Obrázek 14) se množství zlomků pohybuje v rozmezí 0,63 až 0,85 % a celkové mechanické poškození je uváděno v rozsahu 0,39 až 0,58 %. (Malat'ák, a další, 2012).

Obrázek 14 – Souproudé plnění korečků



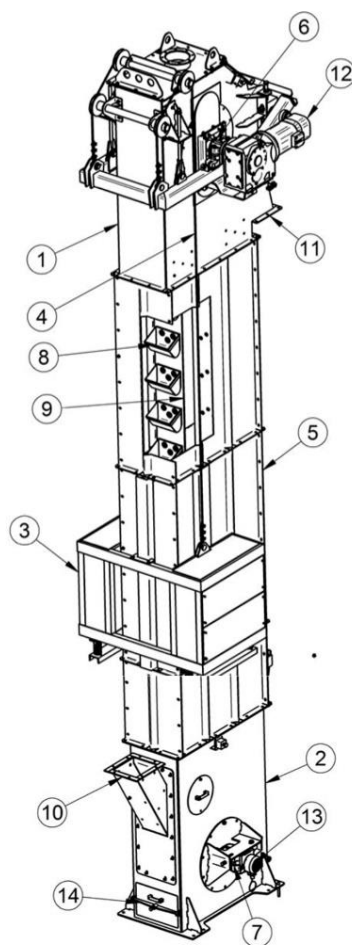
1 – Pás; 2 – Koreček; 3 – Buben; 4 – Spodní hlava; 5 – Násypka

Zdroj: VÚZT, v.v.i.

K nejvyššímu poškození dopravovaného zrna dochází u korečkového elevátoru při souproudém plnění. To je patrně způsobeno tím, že při souproudém plnění je spodní hlava elevátoru více naplněna, a tudíž dráha korečků procházejících vrstvou zrna, je delší. Zrno je při souproudém plnění korečků vystaveno vícenásobným nárazům na hrany korečků, než je tomu při plnění proti korečkům.

Obrázek 15 – Schéma korečkového elevátoru

Konstrukčně jsou korečkové elevátory velmi jednoduché, skládají se ze dvou oběžných kol, plochého řemenu, ocelových kapes a svislého žlabu (Obrázek 15). Korečky mohou být se dnem i bez dna. Korečkové elevátory jsou typu „SANFON“ (7 korečků bez dna a 1 koreček se dnem), nebo provedení „STANDARD“ se všemi korečky se dnem.



- 1 Poháněcí stanice
- 2 Vratná stanice
- 3 Napínací závaží
- 4 Napínací lano
- 5 Tříska střední části
- 6 Poháněcí buben-plovoucí
- 7 Vratný buben-pevný
- 8 Dopravní korečky
- 9 Dopravní pás
- 10 Vsypaní
- 11 Výsyp
- 12 Pohon
- 13 Snímač otáčení s adaptérem
- 14 Čistící otvor

Zdroj: www.kesner.cz

Na celkové poškození zrna při dopravě korečkovými elevátory má vliv i technický stav korečkových elevátorů, především opotřebení náběžné hrany korečků (Skalický, a další, 2008).

Korečkové elevátory ve své dnešní podobě vycházejí z technicky shodných principů a konstrukcí, které jsou ještě stále k vidění v podlahových hrád'ových skladech. Změny se dotkly převážně materiálů, kdy ocel nahradila dřevěné kastlíky, moderní vícevrstvé pryžové pásy nahradily původní kožené a samozřejmě se změnily systémy pohonu z centrálního rozvodu na lokální pohonné jednotky.

Dnešní technologie posklizňových linek a její automatizované dopravníky postupně nahradily lidskou práci, dřevo bylo nahrazeno ocelí a plastem, kůže pryží a pára elektřinou a plynem. Mnoho principů ale zůstává a doplňuje se automatizace a počítačové řídicí systémy. Nahrazuje se lidský faktor.

3.2.5 Příjmové koše

Nebereme-li v úvahu vážení a odběr vzorku přijímané zrniny, příjmový koš je prvním zařízením posklizňové linky, je to zásobník, do kterého se vsypává sklizená neupravená zrnina z korby nákladního automobilu, návěsu nebo přívěsu, případně je zrnina do zásobníku nahrnována kolovým nakladačem nebo manipulátorem. Zásobník je zčásti nebo zcela umístěn pod úroveň vozovky a obvykle je zakryt pojízdným roštem. Příčný profil zásobníku je ve tvaru písmene „V“ nebo „W“. Na dně koše je umístěn šnekový dopravník nebo u moderních posklizňových linek řetězový redler.

Příjmové koše je třeba chránit před deštěm, proto se velmi často umísťují pod přístřeší nebo do příjmových hal. Z hlediska dnešní legislativy a požadavků na omezení úniku prachových částic do okolí je nutné umísťovat příjmové koše do uzavíratelných hal spolu s expedičními zásobníky. To je výhodné i z hlediska ceny a možnosti přepuštění zrniny přes příjmový koš.

Neméně důležitým faktorem při projektování je i kapacita příjmového koše. Příjmové koše s kapacitou nižší, než je kapacita dopravní nákladní techniky, jsou dnes prakticky nepoužitelné, a to především v přejezdném provedení. Běžná kapacita dnešní dopravní techniky je 30 tun na jeden návěs. Vzhledem k příjmové rychlosti dnešních posklizňových linek, běžně 120 tun/hod., a k počtu vozidel odbavených na váze a laboratoři (odběr vzorku, zvážení a základní laboratorní rozbor se pohybuje okolo 15 minut) by byla potřebná kapacita příjmového koše 120 tun. To je při průměrné objemové hmotnosti pšenice 750 kg/m^3 objem příjmového koše 160 m^3 . Při šířce

násypky 4 m, hloubce dna koše 4 m, příčném profilu „V“ by musela být délka koše více než 13 m. Z ekonomických a technických důvodů se kapacity příjmových košů navrhuje na hodnoty okolo 60 tun. Případně se navrhuje profil koše do „W“ se dvěma dopravníky.

U velkých a středně velkých posklizňových linek a skladových kapacit se příjmové koše projektují dva i více. Zdvojení příjmu a cest posklizňových linek je praktické i z důvodu třídění sklizené zrniny dle kvality, vlhkosti, případně jiného druhu zrniny, když se například časově překrývá sklizeň řepky a pšenice.

3.2.6 Expediční zásobníky

Expediční zásobníky jsou určeny pro krátkodobé uskladnění zrniny připravené k expedici z posklizňové linky. Doba uskladnění se pohybuje v rozsahu hodin až dní. Expediční zásobníky, na rozdíl od příjmových košů, nejsou nezbytnou součástí posklizňových linek. Zrninu lze expedovat přímo ze sila. U velkokapacitních sil, která obsahují množství buněk s malou jednotkovou kapacitou, nejsou expediční zásobníky instalovány. Expedice probíhá přímo ze sila zpočátku bočními výpustěmi, po poklesu hladiny zrniny pod boční výpust je expedice zajištěna dopravníky popsány v předchozích kapitolách.

Expediční zásobníky jsou výhodné u sil s velkou jednotkovou kapacitou buňky, kdy není provozně nebo ekonomicky možné připravit na expedici množství zrniny o kapacitě silové buňky. Kapacitu expedičních zásobníků je vhodné volit v celých násobcích kapacity dopravní techniky odvázející zrninu (obvykle násobky 30 tun ~ 40 m³) a je vhodné je u menších posklizňových linek doplnit o tenzometrické vážení jako náhradu za průtočné vážení systémy instalované ve velkých silech s vnitřní technologií.

Expediční zásobníky mají výpust ve tvaru čtyřbokého jehlanu nebo kuželu a jsou podjezdné, to znamená, že výška výpustě musí být alespoň 4,5 m nad vozovkou a rozpon mezi nosnými sloupy minimálně 3 m tak, aby byl zachován bezpečný provoz. Pro vyskladnění z expedičního zásobníku není třeba technologických cest a obvykle se výpust ovládá šoupětem z lávky nebo přes řetězový převod. Jsou ale i systémy s pneumatickými nebo elektromagnetickými klapkami.

3.3 Předčištění a čištění

Při sklizni se získává směs složená ze semen hlavní plodiny a z příměsí a nečistot, které je zapotřebí od semen hlavní plodiny oddělit. Příměsí jsou zrna nebo semena základních druhů zrnin s odlišnou jakostí snižující celkovou hodnotu zrna a semena jiných vyjmenovaných druhů

rostlin podle příslušných předmětových norem. Současné sklízecí mlátičky umožňují při sklizni nezapleveleného porostu produkovat poměrně čistou zrninu. Uváděná čistota je v rozsahu 3 až 5 %. (Maleř, 1996).

Ve sklizené zrnině přijaté na posklizňovou linku obsahující nečistoty, nežádoucí příměsi a různé frakce sklizené obiloviny dochází díky vlastnosti samotřídění sypkých materiálů ke vzniku míst s různou strukturou skladovaného materiálu. Samotřídění se projevuje nejvíce při plnění a vypouštění silových buněk. V největší míře v buňkách s kruhovým půdorysem se středovým plněním a středovou výpustí. Skladovaná zrnina pak není frakčně homogenní a rozložení vlhkosti je díky lokální koncentraci příměsí nestejně.

Posklizňová úprava představuje konkrétní úpravu zrnin a olejin určených pro přímý prodej nebo dlouhodobé skladování. Sklizené produkty po sklizni prochází procesem, jehož rozsah a způsob určují především hodnoty zjištěné v laboratoři při příjmu. Jsou to vlhkost a obsah příměsí a nečistot.

Pravidla a postupy posklizňové úpravy a skladování pro všechny skladovatele a prvovýrobce s vlastními sklady respektují náležitosti Kodexu Alimentarius, ČSN EN ISO 22 000, GMP (Good Manufacturing Practice) a GTP (Good Trading Practice), které dodržují zásady HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) (Kolomazník, a další, 2006).

3.3.1 Předčištění

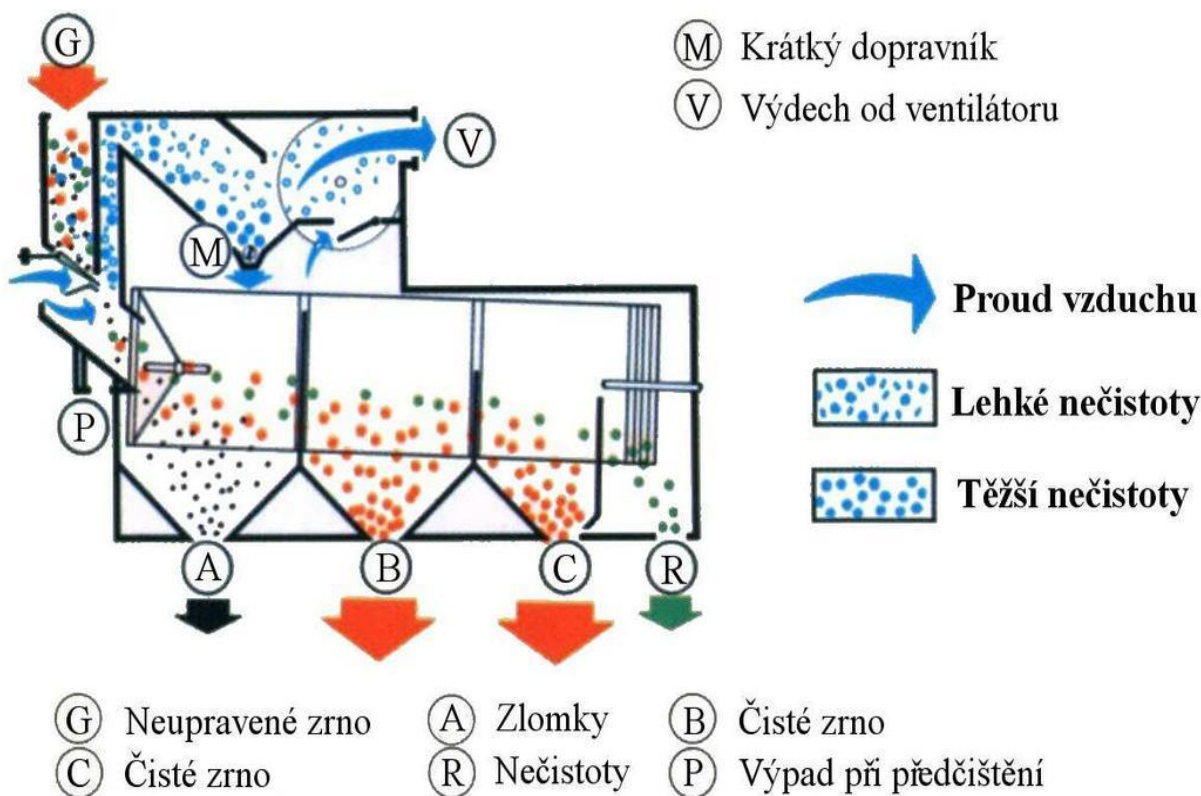
Předčištěním se rozumí odstranění co největšího podílu plevelných semen, zelených částí rostlin, zlomků zrn a dalších nečistot. Nečistoty a plevele mají obvykle i po sušení vyšší vlhkost než semena hlavní plodiny. Nejvyšší koncentrace škůdců, plísní a bakterií se nachází v nevyčištěné masě zrnin, kde vznikají optimální podmínky pro jejich šíření. K poškození zrnin dochází z počátku v ohraničených lokalitách. Uložená masa má malou tepelnou vodivost, takže zvýšení teploty se projeví až v pokročilém stádiu. Může tak dojít ke znehodnocení většího množství zrniny, nebo i celé kapacity skladové buňky. Předčištěním a odstraněním nečistot, zelených komponentů a plevelů se snižují energetické nároky na sušení (Kalinová, a další, 2007).

Pro základní odstranění hrubých nečistot se obvykle používají bubnové či válcové předčističky, které pomocí rotačních sít a proudu vzduchu dokáží tyto nečistoty odstranit. (Obrázek 16) Velice důležité je předčištění zrnin určených k sušení. Předčištěním dojde k odstranění nejvlhčí

části hrubých nečistot a výrazně se tak sníží celková vlhkost masy zrniny pro sušení. Má-li po předčištění sklizené zrno vlhkost do 14 %, je možno jej skladovat bez sušení. Výkon předčističek je závislý na vlhkosti zrna a stupni znečištění. Obsluha předčističky musí být seznámena s funkcí stroje, neboť reguluje tok zrna a systémem klapek rychlost vzduchu. Dbá přitom, aby nedocházelo k vytahování zrna do odpadu (Kolomazník, a další, 2006).

Účinnost čištění vlhkých zrnin je výrazně nižší než čištění zrnin suchých, proto se při příjmu provádí jen základní předčištění, kdy dojde k oddělení výrazně odlišných frakcí, plev, zeminy, stébel, kamení, případně i kovových prvků.

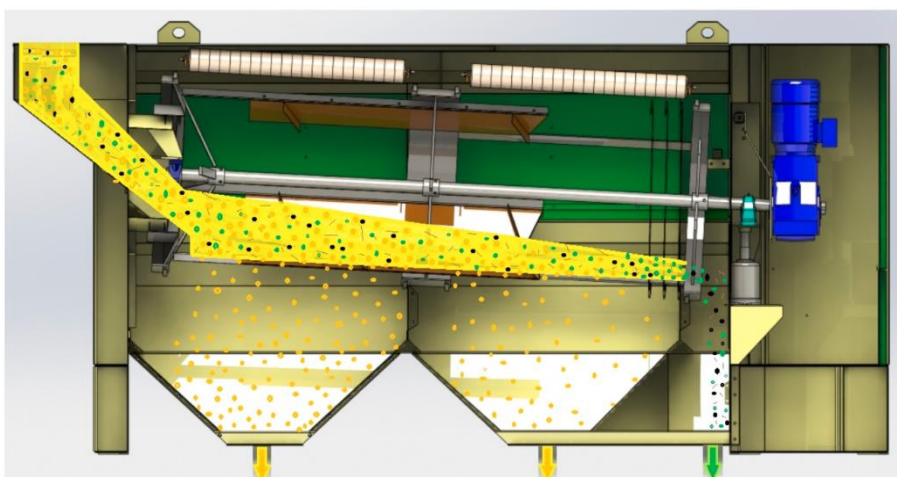
Obrázek 16 – Princip válcové čističky a třídičky s aspirací před vstupem do válcových sít



Zdroj: www.siagra.cz

Použití předčističek s válcovými či bubnovými sítí (Obrázek 17) je nejrozšířenější způsob předčištění. V kombinaci s aspirační předčističkou pro odstranění lehkých a středně těžkých nečistot (Obrázek 18) je při správném nastavení obvykle zrno dostatečně upravené pro uskladnění, případně pro sušení a následné uskladnění.

Obrázek 17 – Předčistička s válcovými síty Marot



Zdroj: www.cfcai.com

Obrázek 18 – Aspirátor lehkých a středně těžkých nečistot Marot



Zdroj: www.cfcai.com

Stroje založené na odlučování nečistot jen v proudu vzduchu jsou vhodné především k hrubému předčištění (Maleř, 1996).

Předčištění a snížení obsahu lehkých a drobných frakcí plev je důležité i ve vztahu k eliminaci nebezpečí zahoření sušárny. Nebezpečí zahoření sušárny je výrazně vyšší u drobných semen plev, stébel a slupek kukuřice, proto je vhodné předčištění provést i u kukuřice, která je nejčastěji sušenou zrninou. Obsah vody se u kukuřice po sklizni pohybuje i okolo 35 %.

Při oddělování nečistot v proudu vzduchu je důležitá kritická (vznosová) rychlost. Kritická rychlost se liší dle plodiny, viz tabulka (Příloha 3), a jedná se o rychlost proudu vzduchu, při

které se částice ve svislém kanálu volně se vznáší. Nalézají se v rovnovážném stavu. Tíha částice ve směru gravitace je rovna vztlakové síle ve směru rychlosti vzduchu.

3.3.2 Čištění a třídění zrnin

Obsah příměsí a nečistot v zrnině nesmí překročit hodnoty stanovené příslušnou normou, případně sjednaným parametrům v kupní smlouvě s odběratelem. Zrniny určené pro čištění by měly být již předčištěny při příjmu, případně vysušeny.

Čištění je běžně prováděno při expedici pro dosažení požadovaných parametrů nebo během skladování. Během skladování, v období mezi žněmi a expedicí zrniny, je obvykle časový prostor pro přípravu zrniny na expedici a prodej. Posklizňové linky jsou navrhovány s ohledem na nejrůznější provozní požadavky a jejich dopravní cesty umožňují zařazení čističky nejen při expedici, ale i během přepouštění zrniny mezi buňkami, nebo přepouštění přes příjmový koš. Možnosti a volby tras manipulace se zrninou jsou zřejmá u technologických schémat (*Příloha 2*).

Ačkoli se nabízí provést čištění v období mimo sezónu, je omezení manipulace se zrnem výhodnější. Důvodem je poškození zrniny během manipulace. Hlavním podnětem k čištění během skladovací doby pak bývá rozmnožení škůdců v obilní mase, případně rozdělení sklizně do kvalitativních kategorií a ekonomické zhodnocení produktu na základě aktuální poptávky.

Čističky jsou zásadně sítové, kdy se pro čištění žita používají síta s otvory 1,8 až 1,9 mm, krmných obilovin síta 2 mm, pro pšenici potravinářskou síta 2,2 mm, ječmen sladovnický síta s otvory 2,5 mm a pro řepku síta s kulatými otvory do 3,5 mm. Kvalita čištění závisí na obsahu vlhkosti a na správném seřízení stroje. Obsluha stroje musí být seznámena s funkcí čističky a správné volbě sít. Při kontrole čištění obsluha dbá na to, aby se v hrubých nečistotách neobjevilo hodnotné zrno a případně pomocí klapky nastaví proud vzduchu tak, aby nedocházelo ke ztrátám semen hlavní plodiny v odváděných létajících nečistotách. Kvalita čištění je kontrolována průběžným odebíráním vzorků. Kontrolní odběr se provádí jedenkrát za 40 až 60 minut (Kolomazník, a další, 2006).

Stroje založené na odlučování nežádoucích komponentů v proudu vzduchu a současně na prosévání zrnin na sítích jsou zpravidla vhodné nejen k předčištění, ale i k intenzivnímu čištění, popřípadě k čištění osiv (Maleř, 1996).

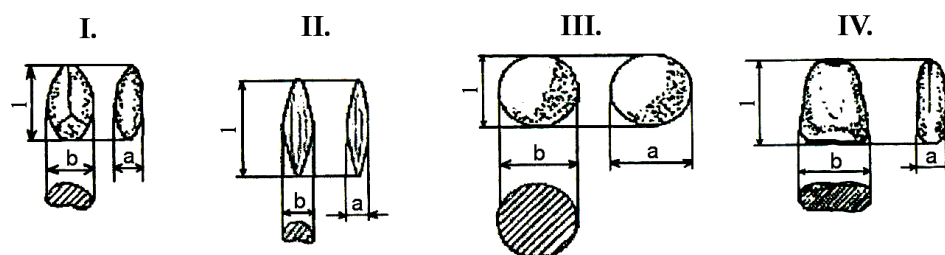
Při čištění a třídění lze využít fyzikálních vlastností zrnin a využít jich pro systémy jednotlivých strojů a zařízení:

- Velikost a tvar jednotlivých zrn
 - Síta – čističky a předčističky – rozdělování dle velikosti a tvaru
 - Triéry – rozdělování dle velikosti a tvaru na jamkových plochách
- Aerodynamické vlastnosti zrna – rozdělování vzdušným proudem, gravitace, vztlaková síla proudu vzduchu
 - Vzduchové předčističky – oddělení prachu, plev, slámy, drobných zrn
 - Vzduchové třídiče – rozptyl trajektorie pohybu jednotlivých frakcí zrniny
- Měrná hmotnost zrna
 - Pneumatický třídící stůl – vibrační pohyb, proud vzduchu, sklon síta
 - Nárazový třídič – měrná hmotnost, tření, pružnost
- Třecí vlastnosti
 - Překulovače – závitový, plátňový, kotoučový
- Povrchové vlastnosti
 - Elektromagnetické čištění – hladký, drsný, vrásčitý povrch zrna
- Barva
 - Fotoelektrický třídič
- Feromagnetické vlastnosti nečistot
 - Permanentní magnety a elektromagnety – odloučení kovových nečistot

(Bradna, 2015)

Třídění zrniny dle velikosti a tvaru je základním principem čištění. Na zrnech rozlišujeme tři rozměry, délku – největší rozměr „l“, šířku – střední rozměr „b“ a tloušťku nejmenší rozměr „a“ (Obrázek 19). Síta s kruhovými otvory třídí zrna dle délky a šířky, síta s podélnými otvory podle tloušťky zrna.

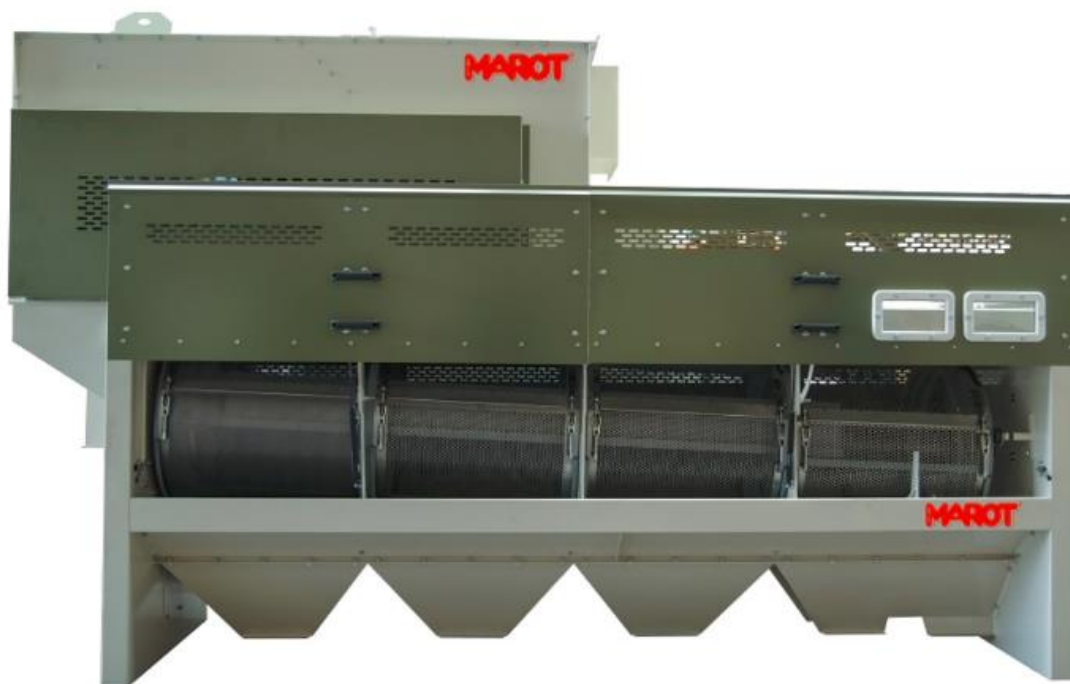
Obrázek 19 – Rozměry zrn



I – pšenice; II – ječmen; III – hrách; IV – kukuřice

Konstrukce čističky vychází z tvaru a smyslu pohybu síta v čističce. **Čističky s bubnovými či válcovými síty** (Obrázek 20) s otáčivým pohybem v ose bubnu síta skloněného ve směru pohybu zrna, které sítem postupně propadává. Buben je rozdělen na jednotlivá síta s rozdílnou velikostí a tvarem otvorů v sítu. Výjimkou nejsou ani pletivo či dráty ve směru pohybu zrna.

Obrázek 20 – Bubnová čistička a předčistička s aspirátorem Marot



Zdroj: www.cfcai.com

Výhodou této konstrukce je relativně tichý chod, chod bez vibrací, samočistící schopnost sít a nižší poškození zrna. Nevýhody jsou velikost stroje a tím často nepoužitelnost v betonových a ocelových silech s omezeným prostorem pro technologii (Obrázek 1 a Obrázek 2), komplikovaná výměna sít, nastavení stroje a nižší výkon na plochu síta než u čističek s rovnými plochými síty.

Pro správnou funkci stroje je zásadní volba otáček a správný průměr bubnu síta. Obvykle jsou v praxi používána síta s průměrem $D = 0,4$ až 1 (m)

$$\text{a délkou } l = D \cdot 3,75 \text{ až } 4 \quad (m)$$

Proto, aby se zrna volně přesýpala po sítu a volně propadávala otvory v sítu a nebyla vlivem odstředivé síly rozprostřena po obvodu bubnu síta, musí být odstředivá síla v rovnováze se silou gravitační (Obrázek 21) a musí tedy platit:

$$m \cdot g = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (N)$$

Pak kritické otáčky pro splnění této podmínky jsou:

$$n_{kr} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (s^{-1})$$

Při dosažení kritických otáček začne být zrno, vlivem odstředivé síly, unášeno sítím. Proto volíme otáčky:

$$n_{sk} = n_{kr} \cdot (0,5 \div 0,8) \quad (s^{-1})$$

V praxi bývají obvykle otáčky nastaveny na 20 až 50 min⁻¹

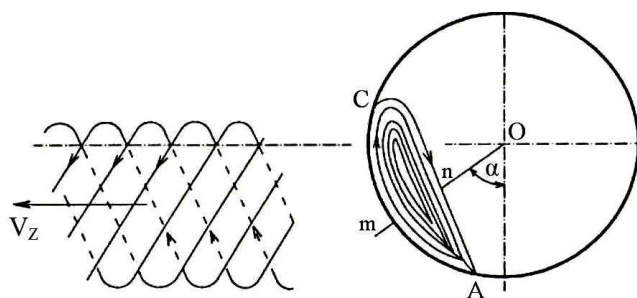
Systémy založené na propadu sítím jsou nejčastější, méně často se uplatňuje princip rozdělování na jamkových plochách – triérech. Triér je zařízení konstrukčně podobné válcovým čističkám, tříděný materiál rozděluje podle délky zrn. Válcové síto je zde nahrazeno bubnem s důlky uvnitř bubnu. Princip třídění spočívá v zapadávání zrn do jamek a jejich unášení po obvodu válce a vypadávání do odváděcího žlabu a do vynášecího šneku (Obrázek 22).

Triéry se dělí podle toho, zda je vynášecím šnekem odváděna základní plodina (ovesné), kdy jsou do žlabu vybírány spolu se střední délkou základní plodiny a krátké příměsi. Dlouhé příměsi jsou odváděny bubnem. Častěji se však používají triéry koukolové. Ze směsi do žlabu jsou bubnem vybírány krátké příměsi a hlavní plodina a dlouhé příměsi jsou odváděny bubnem.

Triéry nejsou běžně do posklizňových linek osazovány. Používají se

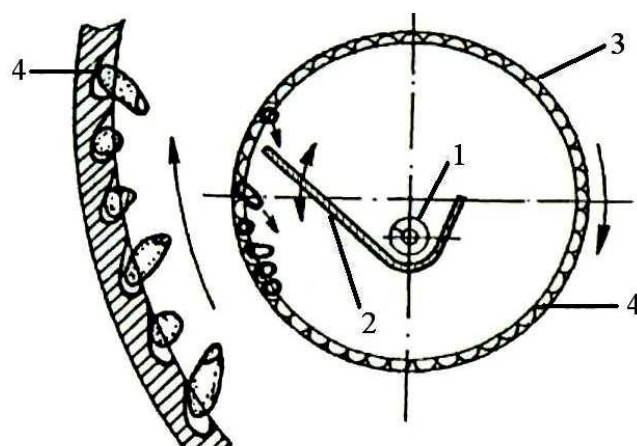
v kombinovaných třídičích zejména v čistírnách setového obilí k vytrídění nežádoucích nečistot a příměsí, které se tvarem a délkou liší od obilí. Čištění je prováděno na rotačním síte a triérovém válci. Jejich nejčastější využití je zejména v čistících linkách pro osiva, v čistírnách mlýnů na obilí a v linkách na třídění sladovnického ječmene. V čistícím procesu se triérové

Obrázek 21 - Pohyb zrna ve vrstvě válcovým sítím



Zdroj: (Bradna, 2015)

Obrázek 22 – Princip válcového triéru



1 – vynášecí šnek; 2 – odváděcí žlab; 3 – válec triéru; 4 – jamkový povrch triéru

Zdroj: (Bradna, 2015)

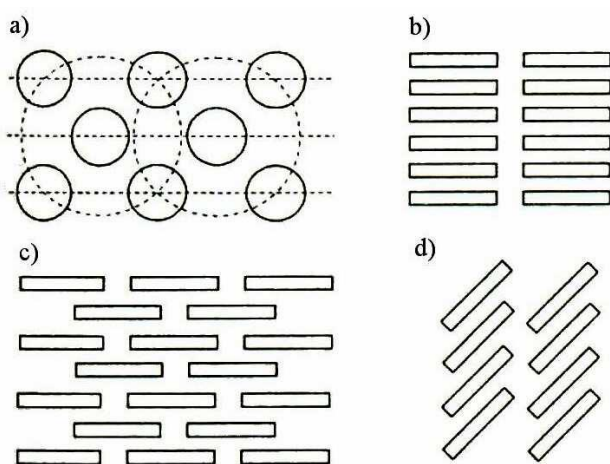
stanice zařazují za stroj, který je schopen oddělit zejména kaménky. Vybírání se děje ve válcích, které mají důlkované pláště (Bradna, 2015).

Čističky s rovnými síty jsou dnes nejrozšířenějšími čističkami. Používají se jako čističky i předčističky a často jsou kombinovány s aspirátory pro odsávání prachu, úlomků a dalších drobných nečistot.

Na rozdíl od čističek s válcovými či bubnovými síty jsou díky soustavě rovinných sít umístěných nad sebou kompaktní, mají vyšší výkon na plochu síta, jednoduchou a rychlou výměnu sít a rozmanitější možnosti regulace podle počtu sít. Mají ale složitější konstrukci a vyšší poškození zrna než čističky válcové.

Síta jsou děrovaná, podobně jak je tomu u válcových čističek (*Obrázek 23*), skloněná ve směru pohybu zrna a vykonávají oscilační pohyb. Skříň se síty se pohybuje buď kývavým nebo krouživým pohybem v rovině síta, a navíc síta vibrují ve směru kolmém na rovinu síta.

Obrázek 23 – Rozmístění a tvary otvorů v sítích

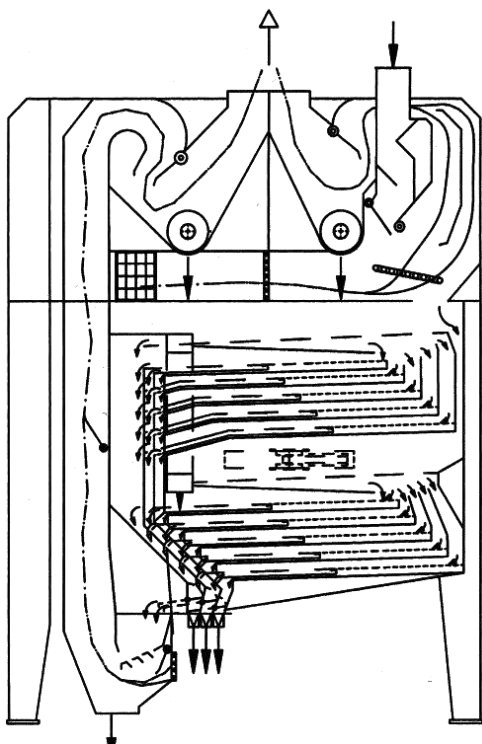


Čističky s rovinnými síty jsou díky vibracím hlučnější než bubnové a vzhledem k tomu, že se síta nepřeklápí, mají tendenci se zanášet. Zanášení sít je eliminováno gumovými kuličkami umístěnými pod každým sítím, které díky oscilačnímu pohybu vyklepávají síta. Pro omezení vibrací se používají síta s obdélníkovými nebo oválnými otvory. zrna pak není třeba natřásat. Aby bylo zajištěno vyklepávání sít, mají rošty pod kuličkami výstupky, které odrážejí kuličky proti sítu.

Výrobek, který má být vyčištěn, prochází jedním nebo více vstupovým potrubím do velkého vzduchového rozdělovače. Spolu s přírodní klapkou způsobuje polygonový efekt podávacího válečku předem definovaný tok produktu na celou šířku stroje. Produkt spadá volně přes kovovou kaskádu skrz stoupající proud vzduchu. Objem a rychlost vzduchu se nastavují ručně nebo automaticky tak, že proud vzduchu proudí lehkými částicemi, jako je prach, špalda, kusy slámy, skvrnitá zrna apod. V integrované expanzní komoře se částice odlučují při nižší rychlosti

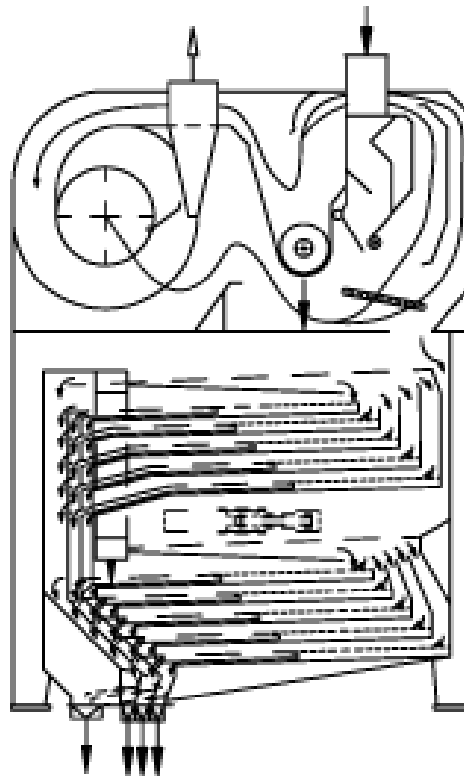
vzduchu a jsou vypouštěny do strany šnekovým dopravníkem. V recirkulačním režimu (Obrázek 24) je vzduch zrychlen pomocí vnitřních ventilátorů a vracen do vertikálního vzduchového třídiče jako součást cyklu. V režimu výfukového vzduchu (Obrázek 25), jsou částice přiváděny celým objemem vzduchu do vnějších filtrů a tam jsou odděleny. Ze svislého vzduchového třídiče se plodina nyní dostává na prosévací paluby. Je vedena přes hrubé, zrnité a pískové síto, která jsou upevněna po celé šířce stroje. Produkt se rozvádí na mírně nakloněná síta kruhovým oscilačním pohybem celého síta. Rozdělovač výrobků a vodící desky zajišťují optimální využití dostupného povrchu síta. V jednom cyklu mohou být odděleny až čtyři různé šarže. Řada RVS (Obrázek 28) dosahuje neustálého vysokého výkonu při čištění s volitelnými deflektorovými klapkami. Síta tak nemusí být, při změně plodiny, např. řepky na ječmen, měněny. V důsledku možnosti ručního nebo automatického spínání nedochází ke snížení výkonu. Přídavné označení "Multi" indikuje, že mezi svislým vzduchovým aspirátorem a síťovým systémem (horní a spodní část stroje) jsou umístěny další deflektorové klapky. Proud produktu je zde opět rozdělen a veden k horním a spodním síťovým plošinám. Při montáži různých sít mohou být vyčištěny různé druhy plodin bez změny sít. (Gebr. Ruberg GmbH & Co. KG, 2011).

Obrázek 25 – Režim odvodu vzduchu



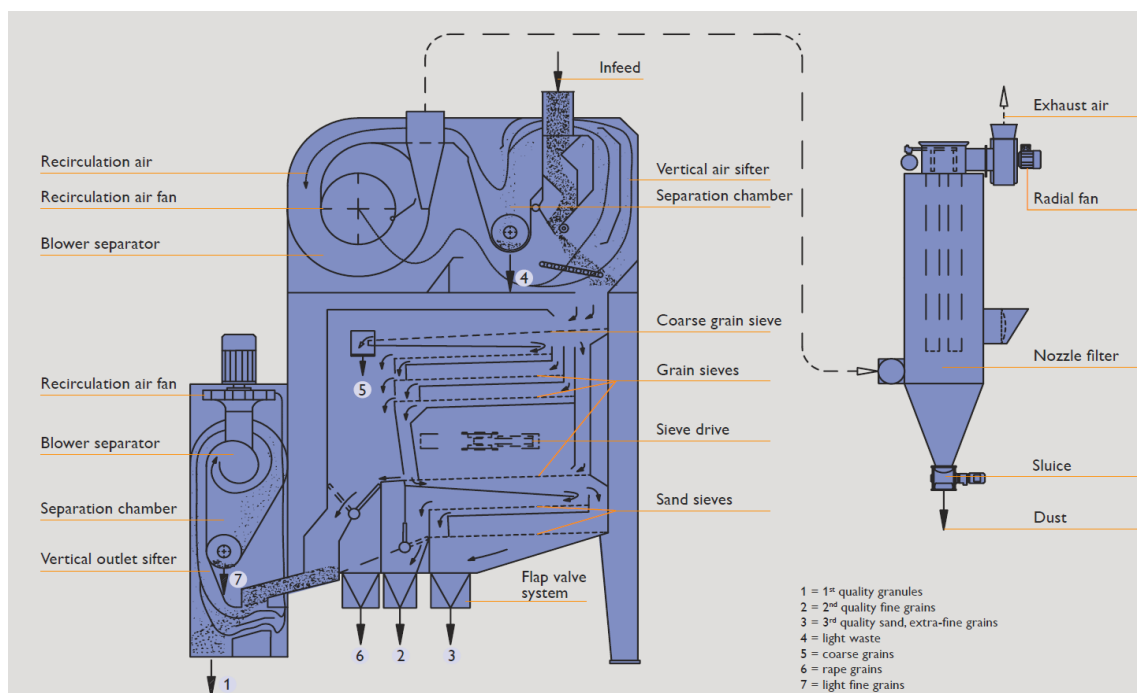
Zdroj: www.g-ruberg.de

Obrázek 24 – Režim recirkulace



Zdroj: www.g-ruberg.de

Obrázek 28 – Operační schéma kombinované čističky Ruberg RVS 40 Aspirators



Zdroj: www.g-ruberg.de

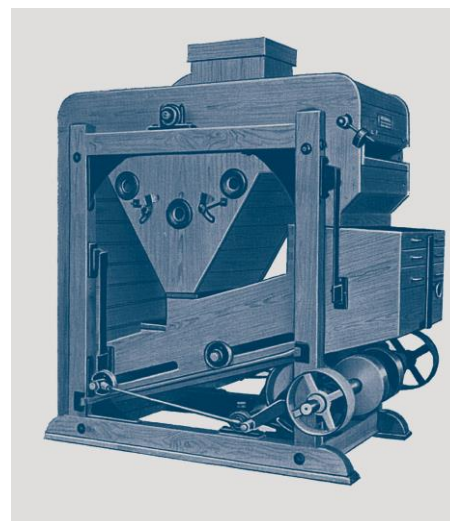
Čistička je nejdůležitějším zařízením posklizňové linky. Dnes projektované posklizňové linky vždy disponují čističkou, předčističkou nebo čističkou s možností předčištění. Čištění obilí je prováděno od dob, kdy se obilí pěstuje. Také základní principy čištění se nezměnily. Síta a proud vzduchu nacházíme jak u dnešních moderních čističek, u čističek vyráběných v polovině 20. století (Obrázek 27), na konci 19. století (Obrázek 26), (Obrázek 29), ale i na dobových kresbách z počátků zemědělství. Mění se jen výkon, efektivita a potřeba lidské práce.

Obrázek 27 – Třidič Ruberg, r.v. 1945



Zdroj: www.g-ruberg.de

Obrázek 26 – Třidič Ruberg, r.v. 1890



Zdroj: www.g-ruberg.de

Obrázek 29 – Kombinovaná čistička obilí Ježek



Zdroj: inzerce zemědělských strojů

Výkonnost čističek se udává zpravidla při předčištění pšenice s obsahem vody pod 18 %. Tato nominální výkonnost se snižuje podle:

- způsobu čištění (předčištění, intenzivní čištění, čištění osiv)
- podle obsahu vody a nežádoucích komponentů
- podle druhu čištěných zrnin

Pokles výkonosti čističek podle způsobu čištění lze objasnit na výkonové řadě čističek Petkus (*Příloha 4*). S rostoucími požadavky na čistící efekt se výrazně snižuje výkonnost sušení, která je závislá i na druhu čištěných zrnin. Pokles výkonosti lze vyjádřit korekčním faktorem druhu zrniny (*Příloha 5*). Také vlhkost zrniny a obsah nežádoucích komponentů má vliv na výkonnost čističek. Pokles výkonosti lze vyjádřit korekčním faktorem (*Příloha 6*) (Maleř, 1996).

Proces čištění je pro zachování kvalitativních hodnot skladovaných nebo expedovaných zrnin velice důležitý a v případě potravinářských produktů i nezbytný. Pro bezpečné skladování je třeba zrniny zbavit nadměrné vlhkosti, kterou lze částečně snížit odstraněním nečistot s vyšším obsahem vody, předčištěním. Pro efektivní čištění je důležitý nejen obsah nečistot vstupující zrniny, ale také kolik obsahuje vody.

3.4 Sušení

Po sklizni zůstává obsah vlhkosti zrna obecně vyšší, než je požadované pro bezpečné skladování zrna. Sušení je fáze systému po sklizni, během něhož je produkt rychle vysušen, dokud nedosáhne úrovně "bezpečné vlhkosti". Cílem sušení je snížit obsah vlhkosti zrna pro bezpečné skladování, čištění, případně další zpracování (Venkatadri, 2016)

Snížení obsahu vody v zrninách je nejbezpečnější způsob jejich konzervace. Rozlišuje se snížení obsahu vody v zrninách neupraveným atmosférickým vzduchem a upraveným sušícím vzduchem (Maleř, 1996).

Pro sušení zrnin se používají dva způsoby, přirozené sušení a sušení umělé.

3.4.1 *Přirozené sušení*

Metoda přirozeného sušení spočívá ve vystavení vymláčených produktů vzduchu (na slunci nebo ve stínu). K získání požadovaného obsahu vlhkosti se zrnina rozprostře do tenkých vrstvy sušící podlahy, kde jsou vystavena působení vzduchu. Doba sušení se liší v závislosti na obsahu vlhkosti požadované pro bezpečné skladování a vstupních parametrech. Pro dosažení rovnoměrného sušení musí být zrno často mícháno, zvláště pokud je na přímém slunečním světle. Aby bylo sušení účinné, relativní vlhkost okolního vzduchu nesmí být vyšší než 70 %. Při tomto způsobu sušení je třeba dbát na několik pravidel:

- Zrnina nesmí být v noci odkryta, protože se ve skutečnosti se zvyšující relativní vlhkosti vzduchu zrna zvlhčují.
- Tato metoda by neměla být používána ve vlhkých oblastech nebo během deštivého počasí.
- Je třeba si uvědomit, že nedostatečné nebo nadměrně pomalé sušení může při skladování ze samozgenerovaného tepla "zeleného" zrna způsobit vážné ztráty produktu.
- Dlouhodobé vystavení zrna atmosférickým faktorům vede k napadení škůdci (hmyz, hlodavci, ptáci) a rozvoji mikroorganismů.
- Zrno by mělo být sušeno na slunci pouze ve dne, je-li vzduch suchý.

Výhody jsou velmi nízké počáteční náklady, nízké náklady na sušení, flexibilní kapacita. Nevýhody jsou proces pomalého sušení, závislost na počasí, vysoké riziko kontaminace a

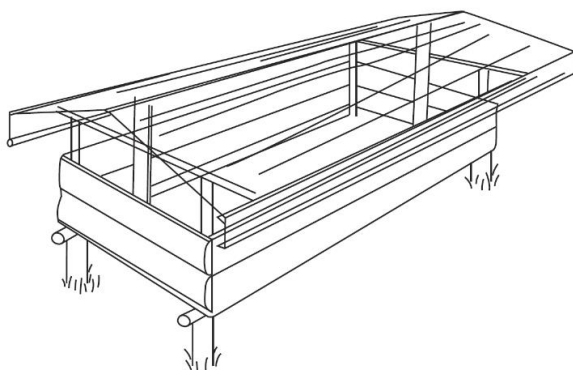
možné ztráty způsobené ptáky a hlodavci a v neposlední řadě vysoké nároky na pracovní sílu (Venkatadri, 2016).

Tento způsob sušení je využíván v zemích v subtropickém pásmu nebo v zemích s nízkými srážkami a v zemích s nízkou produkcí zrnin. Odstavec je převzat z textu vydaném prestižní indickou technologickou společností *Indian Institute of Pulses Research*.

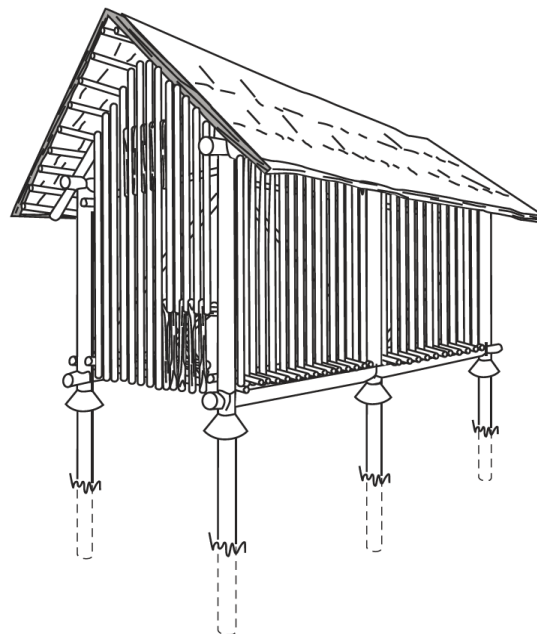
V našich podmínkách se obdobně sušilo pytlované nebo nevymláčené obilí v minulosti (Obrázek 30).

Tyto stavby byly využívány na sušení celých kukuřičných klasů i na seno a místy jsou ještě vidět ve skanzenech nebo jejich pozůstatky na polích. Dnes jsou podobné metody uplatňovány stále na Balkánu (Obrázek 31).

Obrázek 31 – Sušárna pro mělké volně sypané vrstvy. Síťové dno, střecha z průhledného plastu.



Obrázek 30 – Ventilovaná kukuřičná sýpka se stavěla delší stranou proti převládajícím



V našem současném zemědělství vidíme u prvovýrobců snahu zrninu sklízet při co nejnižší vlhkosti, ale v nejlepší kvalitě, tedy v co nejkratší době. Tomu napomáhá i dnešní sklízecí technika. Hlavním důvodem je úspora za sušení.

3.4.2 Umělé sušení neupraveným vzduchem – aktivní větrání, odvlhčování

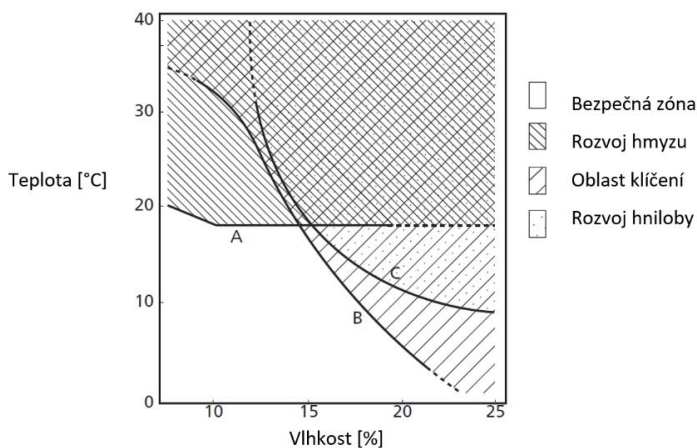
Principem umělého sušení je vstup energie, a to v podobě ohřátého vzduchu (sušičky) nebo proudu neohřátého vzduchu (odvlhčovače) foukaného přes zrnitou hmotu.

Sušení atmosférickým neohřátým vzduchem, aktivním větráním, je nejrozšířenějším způsobem dosušení zrniny v ČR, při kterém navíc nevzniká nežádoucí ohřátí zrniny jako při sušení v sušárnách a jde o výrazně méně energeticky náročnou operaci, než je sušení upraveným –

předehřátým vzduchem. Aktivním větráním se účinně poměrně rychle snižuje teplota masy zrniny a zabraňuje se tak nežádoucímu jevu – „dýchání“.

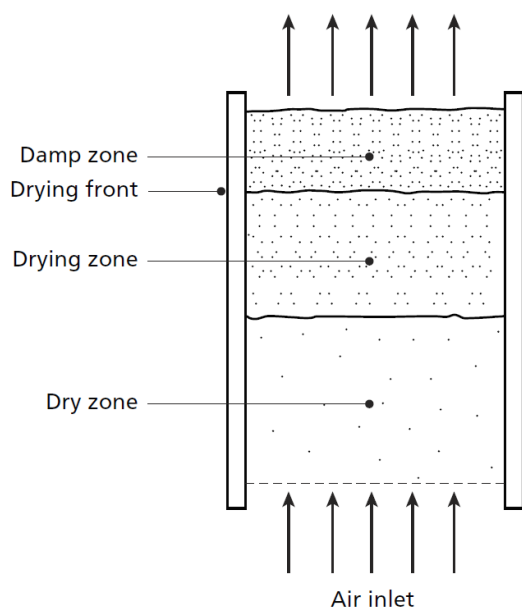
Dýchání je nežádoucí proces, při kterém je díky enzymatické činnosti masou zrniny produkován oxid uhličitý, voda a teplo. Zároveň jsou však spalovány organické látky. Snižováním teploty a vlhkosti masy zrniny lze tento proces minimalizovat (Obrázek 32) a prodloužit tak dobu skladování (Tabulka 1).

Obrázek 32 – Účinky při skladování za různé teploty a vlhkosti



Provzdušňování je vhodné jen při nižší vlhkosti sklizené obiloviny do 18 % (některé zdroje uvádějí i 19 % (Maleš, 1996)), vhodném technickém vybavení (rošty s ventilátory) a příznivém počasí (vyšší teplota a nízká relativní vlhkost vzduchu). Při provětrávání obilní masy je třeba zajistit dostatečný výkon ventilátorů (nebo snížit vrstvu provětrávané obilní masy) tak, aby vzduch procházel celou výškou zrniny. V opačném případě bude docházet ke kondenzaci vody ve vnitřních vrstvách zrniny (Kalinová, a další, 2007).

Obrázek 33 – Sušení vrstvy zrniny



Výška vrstvy zrniny může být 0,3 až 4 m, výjimečně i 6 m. Při vhnání atmosférického vzduchu do vrstvy zrniny se mění obsah vlhkosti v zrnech v profilu vrstvy zrniny (Obrázek 33). Zrno uschne nejprve v místě, kde vstupuje vzduch do masy, suchá zóna prochází hmotou ve směru pohybu vzduchu až na horní hladinu zrniny. Prostor nejefektivnějšího sušení se vyskytuje těsně za vstupem vzduchu do zrniny ve vrstvě nazvané sušící zóna. Ta se postupně rozvíjí a poté se pohybuje. Výška a rychlost postupu zóny sušení závisí převážně na vlhkosti vstupního

vzduchu, vlhkosti obilí a rychlosti proudění vzduchu. Nízkou rychlostí větrání je dosaženo

mělké, pomalu se pohybující suché zóny, zatímco vyšší rychlost vytváří hlubší zónu, která postupuje rychleji.

Nejvzdálenější zrna od zdroje vzduchu zůstávají dlouho vlhká, a může dojít dokonce ještě ke zvýšení jejich vlhkosti díky kondenzaci vodních par obsažených ve vzduchu procházejícím zrninou, dokud sušicí zóna neprojde celou vrstvou zrniny. Je třeba zajistit, aby sušicí pásmo dosáhlo povrchu masy zrniny co nejrychleji. V praxi se pro zajištění včasného provzdušnění celé vrstvy zrniny výška vrstvy upravuje dle vstupních parametrů vlhkostí. Důležitá je i rovinnost horní hladiny zrna.

Při sušení vzduchem se odebírá zrna voda atmosférickým nenasyceným vlhkým vzduchem. Vzduch proudí masou zrniny a odnímá z povrchu zrn vodu. Mezi jádrem a obalem zrna vzniká rozdíl vlhkostí, způsobující přesun vlhkosti z vnitřku zrna na povrch. U zrna je voda různě vázána. Voda obsažená v buněčných a mezibuněčných dutinách je voda volná – hygroskopická. Část vody v zrně je chemicky vázána. Vazba vody v zrně ovlivňuje rychlost jejího uvolňování při sušení. Volná voda se při sušení odpařuje obdobně jako voda z volné hladiny. Odpařování vody vázané ve stěnách buněk je obtížnější. Chemicky vázaná voda se nedá vůbec bez rozkladu struktury zrna uvolnit. Zrno se skládá ze dvou složek: sušiny a z vody (Skalický, a další, 2008).

Vstupní přetlak vzduchu vstupujícího do vrstvy zrnin musí překonat aerodynamický odpor vrstvy, který závisí na její výšce, mezerovitosti a povrchových vlastnostech zrnin. K tomuto účelu se používají ventilátory. Množství atmosférického vzduchu, který musí projít vrstvou zrniny, aby došlo k provzdušňování je uvedeno v tabulce (Tabulka 2) Zdroj:

Tabulka 2 – Množství atmosférického vzduchu k provzdušňování

Obsah vody v zrninách (%)	Minimální množství vzduchu (m ³ / t·hod)	Maximální výška zrnin (m)		
		obilniny	olejniny	luštěniny
16	30	3,5	3,0	3,5
18	40	2,5	2,5	2,5
20	60	2,0	2,0	2,0
22	80	2,0	2,0	1,7
24	120	2,0	1,5	1,5
26	160	2,0	1,5	1,2

Zdroj: (Maleř, 1996)

Přestože zvýšení průtoku vzduchu zvyšuje sušící výkon, ukazuje se, že statický tlak, který je způsoben odporem zrna vůči průtoku vzduchu, stoupá velmi rychle se zvyšující se rychlostí průtoku vzduchu, jak je zřejmé z tabulky (Tabulka 3). Proto se běžně přistupuje k omezení rychlosti proudění vzduchu tak, aby se zabránilo potřebě výkonných ventilátorů.

Tabulka 3 – Typická odolnost proti průtoku vzduchu (Pa) na 1 metr výšky plodiny

Plodina	Rychlost průtoku vzduchu plodinou ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)				
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Pšenice	140 Pa	330 Pa	570 Pa	850 Pa	1070 Pa
Kukuřice	70 Pa	180 Pa	320 Pa	500 Pa	720 Pa
Hrách	50 Pa	110 Pa	190 Pa	290 Pa	410 Pa

Zdroj: (Skalický, a další, 2008)

Odpor vrstvy závisí na obsahu příměsí zelených částic, nevyzrálých zrn, druhu zrniny, vlhkosti zrna a násypné výšce zrna v zásobníku. Pro aktivní provzdušňování vlhkého neošetřeného zrna přímo od sklízecích mlátiček jsou vhodné středotlaké radiální ventilátory, které zajistí 20 až 30 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ (někdy až 35 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) vzduchu na 1 tunu uskladněného zrna a potřebný tlak 1 500 Pa. Výstupní rychlost z vrstvy uskladněného zrna musí být nejméně v rozmezí 0,02 až 0,04 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ při násypné výšce zrna 2,5 až 4 m. Při dodržení těchto základních parametrů je záruka kvalitního ošetření uskladněného zrna (Tabulka 4) (Skalický, a další, 2008).

Tabulka 4 – Závislost střední rychlosti ochlazování zrna na množství vzduchu

Rozdíl teplot zrna a vzduchu (%)	Množství vzduchu ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ na 1 tunu)							
	20	40	60	80	100	120	140	160
	Střední rychlost ochlazování zrna ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$)							
5	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32
10	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64
15	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96
20	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,28
25	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
30	0,24	0,48	0,72	0,96	1,20	1,40	1,68	1,92
35	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,96	2,24
40	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,24	2,56

Zdroj: (Skalický, a další, 2008)

Mají-li se uskladněné zrniny sušit, vhání se do nich vzduch s vnější relativní vlhkostí pod 70 %. Tento způsob se nazývá „Selektivní ventilace“. Předpokladem selektivní ventilace je automatické ovládání ventilátorů se zařazeným snímačem relativní vlhkosti atmosférického vzduchu. Tím, že je čas provzdušňování omezen mezní hodnotou relativní vlhkosti vzduchu lze tento nedostatek kompenzovat použitím výkonnějších ventilátorů, popřípadě zařazením více ventilátorů (Maleš, 1996).

Sušení neupraveným vzduchem využívá dodávku větracího vzduchu přes $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na jednu tunu uskladněného zrna. Dochází tak k měřitelnému ochlazení uskladněné zrniny v řádu hodin až dní (*Tabulka 4*) a ke snížení vlhkosti zrna intenzivním porušováním. Použití středotlakých radiálních ventilátorů zajišťuje potřebný tlak pro průchod dostatečného množství vzduchu zrninou i při velkých vrstvách skladované zrniny. Sušení neupraveným vzduchem je použitelné do vstupní vlhkosti zrna 18 %, za dobrých klimatických podmínek v průběhu provzdušňování až do 20 % vlhkosti zrna (Křepelka, a další, 2013).

3.4.2.1 Vliv výpočetní techniky

Kompenzace nedostatků sušení neupraveným vzduchem v podobě časového omezení vzhledem k mezní hodnotě relativní vlhkosti vzduchu je s automatizací jednotlivých operací stále menší komplikací. Díky měřicí technice a dnes dodávaným snímačům, které dokáží předat nejrůznější informace potřebné pro správné řízení celého systému, jsou tyto systémy dnes tak populární.

3.4.3 Teorie sušení upraveným vzduchem

Sušení vlhkých materiálů je obecně odstraňování vlhkosti v podobě vody z tuhých, kapalných a plynných látek. Tato práce se bude zabývat pouze sušením zrnin odpařováním nebo vypařováním. Jedná se o proces principu přenosu tepla a hmoty (vody, vodních par) mezi materiálem – zrnem a sušicím médiem – vzduchem.

3.4.3.1 Vypařování

Vypařování je definováno jako sušení při teplotách rovných nebo vyšších, než je bod varu dané kapaliny za daného tlaku. Páry kapaliny se převádějí do sušícího prostředí prouděním vyvolaným rozdílem absolutních tlaků (například při sušení přehřátou párou, sušení ve vakuu) (Neubauer, a další, 1986).

3.4.3.2 Odpařování

Odpařování je sušení při teplotách nižších, než je bod varu odstraňované kapaliny za daného tlaku. Páry kapaliny se převádějí do sušicího prostředí difúzí vyvolanou rozdílem parciálních tlaků (například při teplovzdušném sušení) (Neubauer, a další, 1986).

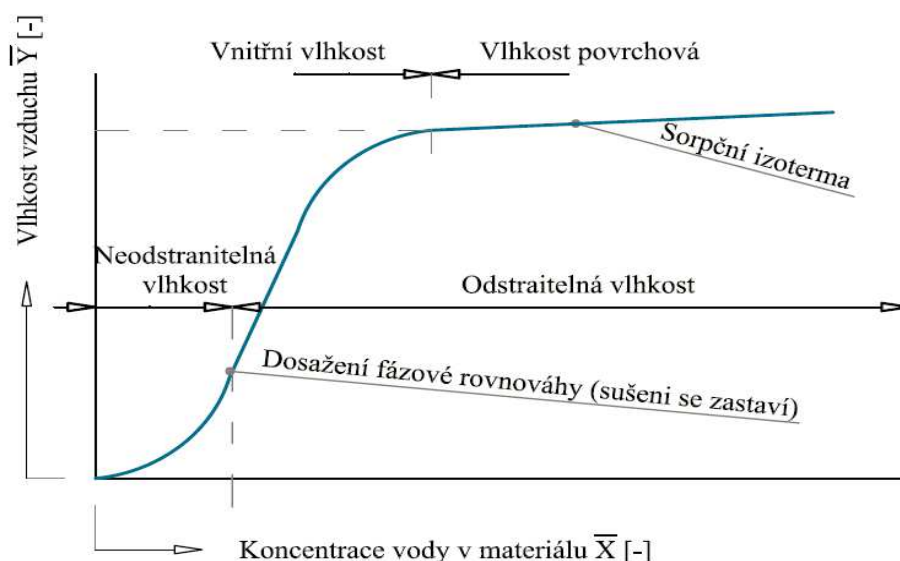
Odpařování známe přirozené, viz. kapitola 3.4.1 *Přirozené sušení*, nebo umělé, viz. kapitola 3.4.2 *Umělé sušení neupraveným vzduchem*.

Vypařováním vlhkosti z povrchu se narušuje rovnováha. Vnitřní části suroviny mají vyšší obsah vlhkosti, a rovněž i nižší teplotu než povrchové vrstvy. Vzhledem k rozdílu vlhkosti povrchových a vnitřních vrstev vzniká gradient vlhkosti. To vede k procesům difuze – vnitřního přenosu hmoty, při kterých dochází k pohybu vlhkosti z vnitřních vlhčích vrstev, k povrchovým a zde dochází k jejímu odpařování. Díky existenci gradientu obsahu vlhkosti probíhá kontinuální pokles vlhkosti v celém objemu sušicího materiálu (Grdzelišvili, a další, 2010).

Druhy vlhkosti, které se mohou v zrninách vyskytovat (Obrázek 34), jsou:

- **Povrchová vlhkost (nevázaná)**, která je vázaná k povrchu materiálu hlavně přilnavostí a vykazuje napětí par rovné tenzi páry při dané teplotě. Převod z kapalné do plynné fáze je obdobný jako při vypařování vody z volné hladiny.
- **Vnitřní vlhkost (vázaná)**, která je vázána v nitru materiálu pomocí kapilárních sil
- **Rovnovážná vlhkost**, představuje množství vlhkosti, které je v rovnováze s parciální tenzí páry v plynném prostředí (neodstranitelná).
- **Volná vlhkost**, kterou lze odstranit pomocí sušení.

Obrázek 34 – Rovnovážný diagram vlhkosti při konstantní teplotě



Zrno je směs absolutně suché pevné látky a vody. Koncentrace vlhkosti v zrně vyjadřuje její relativní hmotnost pomocí zlomku $\bar{X} = \frac{m_w}{m_m}$ (-)

kde m_w je hmotnost vody v materiálu (kg) a m_m je hmotnost suchého materiálu (kg). Hmotnost vlhkosti (vody) v materiálu je součtem neodstranitelné a odstranitelné vlhkosti. Vlhkost vzduchu (sušícího média) lze vyjádřit zlomkem relativní hmotnosti:

$$\bar{Y} = \frac{m_w}{m_m} \quad (-)$$

kde m_w je hmotnost vody v sušícím médiu [kg] a m_m je hmotnost suchého sušícího média [kg], nebo jako relativní vlhkost:

$$\varphi = \frac{p_A}{p_A^0} \quad (-)$$

kde p_A je parciální tlak vody ve vzduchu (Pa) a p_A^0 je tlak nasycených par o stálé teplotě (Pa).

Při samotném sušení vlhkých materiálů probíhají vzájemně provázané procesy přenosu tepla a vlhkosti mezi materiálem a sušícím médiem (Grdzelišvili, a další, 2010).

Rychlost sušení je závislá na sdílení vlhkosti s hybnou silou rovnou rozdílu koncentrací sdílené složky. Pomocí této hybné síly se pak vyjadřuje rychlost děje. Rychlost sušení vyjádřená jako intenzita hmotnostního toku vlhkosti je podle obecné definice této veličiny:

$$\Phi_A = \frac{d^2 m_w}{dA \cdot d\tau_t} \quad \left(\frac{kg}{m^2 \cdot s}\right)$$

Kde A je plocha (m^2) a τ_t je čas (s). Rychlost sušení lze také vyjádřit pomocí přestupu vlhkosti v plynné fázi:

$$\Phi_A = k_u \cdot (Y_{AW} - Y_A) \quad \left(\frac{kg}{m^2 \cdot s}\right)$$

3.4.4 Umělé sušení upraveným vzduchem – konvekční sušení

Konvekční sušení je způsob, při němž se teplo vysoušeného materiálu sdílí prouděním sušícího prostředí a znamená odpařování vlhkosti z povrchu zrna. Při tom je nezbytný prostup této vlhkosti z jádra zrna na jeho povrch. Teplo přiváděné ohřátým vzduchem se spotřebovává na odpaření vlhkosti i na ohřev samotného zrna, bez něhož je nemožný ohřev vlhkosti obsažené v zrně. Kromě přenosu tepla vzduch pohlcuje páry vlhkosti, které jsou odváděny mimo sušící prostor. Tím je sušení konvekcí souborem následujících tepelných procesů probíhajících současně a vzájemně se ovlivňujících:

- Přenos tepla ze sušícího prostředí povrchem do zrna
- Přenos vlhkosti uvnitř zrna
- Odpaření vlhkosti
- Přenos vlhkosti z povrchu zrna do sušícího prostředí

(Neubauer, a další, 1986)

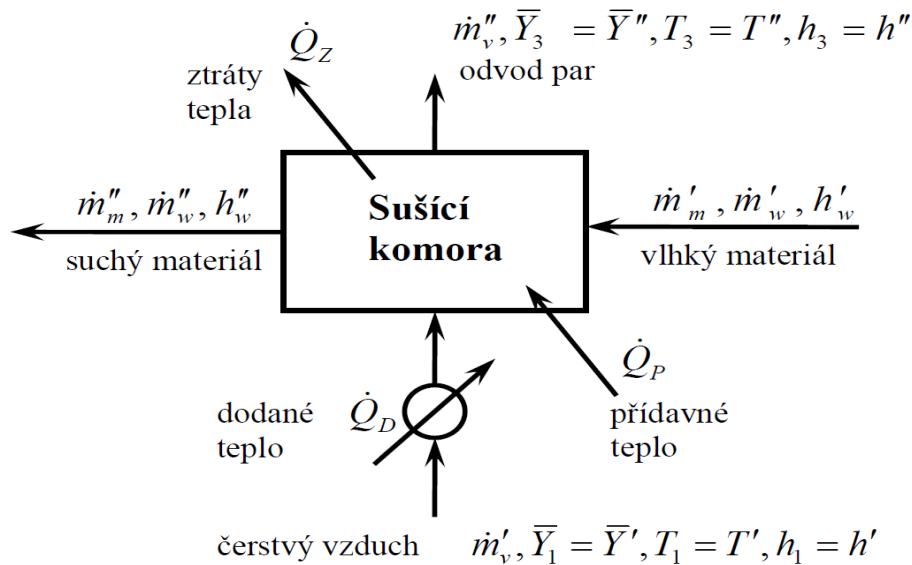
Přestup tepla mezi sušícím prostředím a zrnem roste s potenciálem teplot, rozdílem teploty povrchu zrna $t_{st} (K)$ a střední teplotou tekutiny $t_t (K)$ (sušícího prostředí) v průtočném průřezu. Tepelný tok mezi zrnem a sušícím prostředím je:

$$\dot{Q} = \dot{q} \cdot S = \alpha \cdot S \cdot (t_{st} - t_t) \quad \left(\frac{MJ}{hod.}\right)$$

Kde $\dot{q} = \alpha \cdot (t_{st} - t_t) \left(\frac{W}{m^2}\right)$ je hustota tepelného toku, $\alpha \left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$ je součinitel přestupu tepla.

Tepelná a materiálová bilance teoretické sušárny (Obrázek 35) – sušení teplým vzduchem, konvekce.

Obrázek 35 – Schéma teoretické konvekční sušárny



Zdroj: (Kumhála, 2018)

Horní indexy rozlišují vstupní a výstupní stavy veličin vázaných k sušenému zrně a sušícímu médiu.

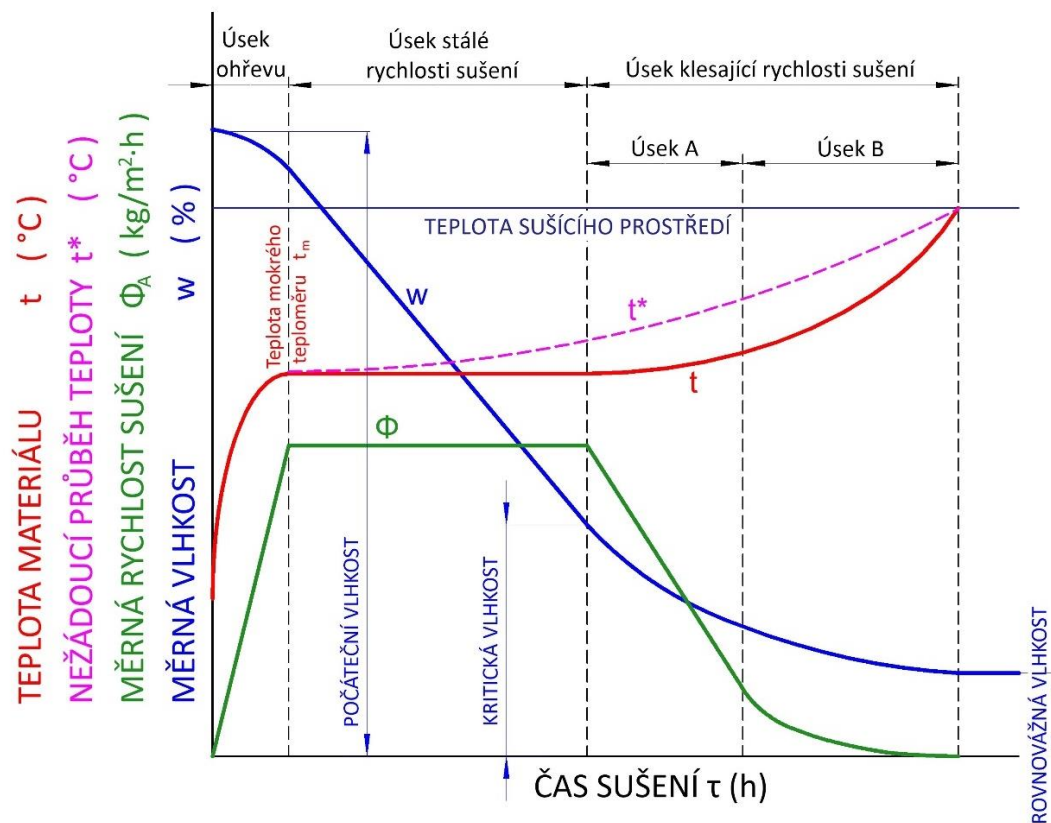
Průběh sušení (Obrázek 36) lze názorně popsat podle průběhů křivek vlhkosti sušeného materiálu, rychlosti sušení a teploty povrchu sušeného materiálu v závislosti na čase.

Proces sušení prochází určitými úseky. Pro tyto úseky jsou charakteristické určité průběhy sledovaných veličin v závislosti na čase.

Sledovanými veličinami jsou okamžitá teplota sušené zrniny – červená křivka, měrná vlhkost sušené zrniny – modrá křivka. Zelená křivka představuje množství odpařené vody z 1 m² povrchu zrniny za 1 hodinu.

Růžová čárkovaná křivka označuje nebezpečí vzrůstající teploty zrna v úseku se stálou rychlostí sušení. V tomto stavu dochází k rychlejšímu uvolňování vlhkosti z povrchu zrna, než je rychlost difúze vlhkosti z jádra zrna k jeho povrchu. Vzniká nebezpečí zahoření sušárny a dochází k poškození povrchu zrna. Průběh sušení dle této křivky je nežádoucí.

Obrázek 36 – Diagram křivek sušícího procesu



Zdroj: Petr Hovorka, podklad (Kumhála, 2018)

Úsek ohřevu – přiváděné teplo se spotřebuje především na ohřev zrna:

- Rychlý pokles vlhkosti zrna
- Vzrůstající rychlost sušení
- Rychlý růst teploty zrna

Úsek stálé rychlosti sušení – průběh je podobný odpařování vody z volné hladiny:

- Konstantní rychlost sušení – lineární pokles vlhkosti
- Konstantní teplota zrna – teplota mokrého teploměru (adiabatického nasycení vzduchu)
- Tlak par nad povrchem materiálu je úměrný rozdílu parciálních tlaků na povrchu zrna a v okolním prostředí – není ovlivněn vlhkostí sušeného materiálu

Úsek klesající rychlosti sušení – uvolňování pevněji vázané vody:

- Zpomalení poklesu vlhkosti
- Zpomalení rychlosti sušení
- Nepřetržitý růst teploty
- **Úsek A** – Intenzita sušení je určena vnějšími podmínkami, limitující je rychlost difúze vlhkosti z jádra na povrch
- **Úsek B** – Intenzita sušení je určena jen vnitřními podmínkami difúze vlhkosti z jádra na povrch

Povrch zrna se po dosažení kritické vlhkosti přestane chovat jako volná vodní hladina, tlak par nad povrchem zrna klesá. Potenciál mezi povrchem zrna a sušicím prostředím klesá a rychlost sušení se snižuje. Při vyrovnání tlaku nad povrchem zrna s parciálním tlakem par v sušičce se zastaví přenos vlhkosti ze zrna do sušicího média. Sušení se zastaví.

3.4.5 Technologie sušení zrnin předehřátým vzduchem

K sušení zrnin předehřátým vzduchem jsou využívána technologická zařízení – sušárny.

U této metody se před ventilátory předřazují vyvíječe tepla, které upravují teplotu atmosférického vzduchu. Vyvíječe tepla jsou buď elektrické odporové, nebo spalující lehké topné oleje či plyn. Elektrické odporové vyvíječe tepla se využívají především tam, kde postačuje nižší předehřívání vzduchu (Maleř, 1996).

Při sušení předehřátým vzduchem je nejdůležitější fází sušení **úsek stálé rychlosti sušení** (Obrázek 36). U některých plodin je, v důsledku nedostatečné rychlosti difúze vlhkosti z jádra na povrch zrna, nebezpečí smrštnění materiálu. Této fázi sušení musí být věnována velká pozornost z hlediska teplotního průběhu. Při vyšším odparu vody z povrchu zrna než difúzí vody z jádra k povrchu zrna, dochází k nedovolenému zvýšení teploty povrchu zrna (Obrázek 36 – přerušovaná růžová křivka). Vytváří se velký rozdíl koncentrací vlhkostí a nastává mechanické porušování sušeného materiálu. Zůstane-li rovnováha mezi vlhkostí jádra a povrchu zrna zachována, rychlost sušení se nemění až do dosažení kritické vlhkosti.

3.4.6 Sušárny

Sušárny lze klasifikovat dle různých kritérií:

- **Podle režimu provozu:** *Kontinuální, Dávkové*
- **Podle provozního tlaku sušicího prostředí:** *Atmosférické, Vakuové, Přetlakové*

- **Podle způsobu přívodu tepla (chlada):** *Konvektivní (tepelná energie se přenáší pomocí konvekce), Kontaktní (tepelná energie se přenáší pomocí tepelné vodivosti, Radiační – tepelná energie se přenáší pomocí radiace), Vysokofrekvenční (tepelná energie se transformuje z elektrické energie uvnitř sušeného materiálu), Akustické (tepelná energie vzniká v důsledku ultrazvukového kmitání), Kombinované (přenos tepla probíhá pomocí kombinace některých výše uvedených metod)*
- **Podle druhu sušicího média existují aparáty, v kterých se používají:** *Vzduch, Spaliny, Přeřátou páru, Inertní plyny*
- **Podle cirkulace sušicího média:** *S přirozenou cirkulací, S nucenou cirkulací*
- **Podle počtu použití sušicího vzduchu** *Sušárny bez recirkulace sušicího vzduchu, Sušárny s recirkulací sušicího vzduchu*
- **Podle směru pohybu sušicího média a sušicího materiálu:** *Polopohyblivé (se pohybuje pouze sušený materiál nebo pouze sušící médium), Souproudové (směr pohybu sušeného materiálu a sušicího média je stejný), Protiproudové (směry pohybu sušeného materiálu a sušicího média jsou opačné), Křížoproudové – směr pohybu sušeného materiálu je kolmý na směr sušicího média.*
- **Podle způsobu ohřevu sušicího média:** *S ohřevem sluncem, S ohřevem elektrinou, S ohřevem parou, S ohřevem spalovaným plynem, S ohřevem spalovaným pevným či kapalným palivem*
- **Podle konstrukce:** *Komorové, Tunelové, Šachtové, Pásové, Bubnové, Věžové a jiné.*
- **Podle druhu sušicího materiálu:** *Pro tuhé materiály, Pro tekuté materiály, Pro pastovité materiály*

Volba způsobu sušení závisí na biochemických a strukturálně mechanických vlastnostech materiálů, na jejich stavu během dehydratace (celé plody, nakrájené na kousky, tekuté produkty), stejně tak jako na vlastnostech finálního výrobku a na efektivitě procesu (Grdzelišvili, a další, 2010).

3.4.6.1 Konvekční sušárny

K sušení zrnin v ČR se nejvíce používá konvektivní sušení, a to vzduchem, spaliny, nebo jejich směsí. Palivem jsou nejčastěji zemní plyn, LTO (lehký topný olej), bioprodukty podobě biomasy nebo bioplynu. Méně často jsou k ohřevu sušicího média využívány elektrické nebo solární zdroje.

Konstrukčně jsou nejvíce používané sušárny šachtové, věžové, kontinuální pásové se štěrbinovým ložem, průtočné horizontální.

3.4.6.2 Horizontální sušárny

jsou jednoduchá, a přitom výkonná sušící zařízení, určená pro sušení všech druhů zrnin, která naleznou uplatnění v běžném zemědělském provozu. Tyto sušárny vynikají především svojí jednoduchou obsluhou a nižší pořizovací cenou. Dostupné jsou také v mobilním provedení. Konstrukce sušárny (*Příloha 7*) využívá principu vertikálního průtoku materiálu jednotlivými sušícími oddíly. Na rozdíl od jiných sušáren je zde zrno ohříváno upraveným vzduchem z jednoho až šesti horizontálně umístěných axiálních ventilátorů s hořákem. Součástí sušárny je rozhrnovací šnek pro rovnoměrné plnění sušících oddílů, turniketové podavače a vyskladňovací šnek. Její konstrukce také nabízí snadný přístup pro obsluhu v případě oprav nebo údržby. Činnost sušárny je plně automatizovaná (BEDNAR FMT s.r.o., 2018).

3.4.6.3 Kontinuální sušárny se štěrbinovým ložem

a vodícím řetězem (*Příloha 8*) zajišťují šetrné a rovnoměrné sušení v celém průřezu plodiny. Nevytváří se tak nerovnoměrné proudy, které mohou vznikat v gravitačních nebo rotačních sušárnách. S kombinací štěrbinového lože a vodícího řetězu se nemohou plevy ani drobný odpad shromažďovat uvnitř sušárny a nebezpečí požáru je velmi nízké. Když zrno přepadá z horního lože na dolní na vratném konci sušárny, prach a plevy jsou zvedány proudem vzduchu unikajícího z dolního lože, čímž dochází k užitečnému vyčištění zrna. Prach se poté shromažďuje v prachové komoře, kterou lze následně jednoduše vyčistit. Standardně jsou však sušárny opatřeny vnitřními klapkami nad horním a dolním ložem pro zadržování prachu v plodině (není třeba předčištění) a prachová komora slouží pouze pro zachycení zbytkových úletů z konce sušárny (Alvan Blanch Czech s.r.o., 2018).

3.4.6.4 Věžové sušárny

(*Obrázek 37*) mají na rozdíl od dvou předešlých svislou konstrukci. Jednoduchá a spolehlivá konstrukce zajišťuje velké využití zastavěné plochy a dlouhou životnost. Věžové sesypné sušárny GSI (*Příloha 9*) jsou vysoce výkonná a úsporná zařízení vyznačující se nízkou spotřebou paliva, 100 % rekuperací tepelné energie z chlazení usušeného zrna a velkým využitím zastavěné plochy. Je konstruována jako montovaná dvouplášťová sesypná sušárna s palivem na propan-butan nebo zemní plyn. Sušení probíhá plášťově, kdy se mezi dvěma sousými válcovými pláštěmi gravitačně sesypává sušené zrno. Uvnitř plášťů jsou umístěny tzv.

inventory, které zajišťují promísení sušeného materiálu a zároveň dělí prostor mezi sušící a chladicí částí. Vháněný vzduch ochlazuje zrna ve spodní části je horkým zrnem předehříván, což zajišťuje 100 % rekuperaci tepelné energie z chlazení usušeného zrna (BEDNAR FMT s.r.o., 2019).

Obrázek 37 – Věžová sušárna Brock



Zdroj: Foto Petr Hovorka

3.4.6.5 Šachtové sušárny

jsou určeny pro sušení všech typů zrnin a vyznačují se velmi nízkou spotřebou paliva, vysokou účinností, nízkou produkcí emisí a homogenní vlhkostí zrna na výstupu. Jsou ideálním řešením pro provoz vyžadující minimální prašnost a možnost využití tepla z bioplynových stanic. Díky tepelně izolovanému plášti a rekuperaci tepelné energie z chlazení usušeného zrna výrazně snižují spotřebu paliva.

Šachtové sušárny obecně dokáží pracovat v kontinuálním i dávkovém provozu. V těchto sušičkách je velký výběr a díky stavebnicové konstrukci lze sestavit zařízení přesně dle požadavku zákazníka. Jednotlivé značky se liší převážně použitými materiály a škálou nabízených typů. Vzhledem ke klimatickým podmínkám v ČR a vlhkosti sklizených plodin jsou ve většině případů instalovány kukuřičné sušárny. Vyrábějí se ale i v různých modifikacích dle preferované plodiny. Od kukuřičných sušiček liší hlavně v rozmístění kanálů, vrstvě sušeného materiálu a také ve vyšším výkonu ventilátoru. Ten je nutný i pro výkonné chlazení v době horkého počasí o žních.

Příkladem jsou sušičky Stela. Informace jsou čerpány od společnosti Pawlica, s.r.o.

Sušička STELA MDB (*pozn. kukuřičná sušička*) pracují s rekordně nízkou spotřebou energie. Kukuřičné sušičky jsou vybaveny dvěma ventilátory pro aktivní rekuperaci tepla. Díky pneumaticky řízenému rázovému vypouštění a diferenciaci pracovního prostoru šachty dokážou usušit mokrou kukuřici až s 35 % vlhkostí jedním průchodem. Na sušičkách STELA MDB (*Obrázek 38*) lze sušit i obilí. Jsou vyrobeny z tvrzeného hliníku, který má absolutní odolnost vůči korozi. Mezi přednosti sušičky STELA patří vedle vysokého výkonu i fyzická životnost dosahující až 50 let.

Ve spodní části sušicí věže je masivní podstavec s vyprazdňovacím zařízením, na nějž se montují jednotlivé elementy sušicí věže. Zcela nahoře je plnicí zásobník. Z jednoho boku věže přiléhá komora horkého vzduchu, z druhé strany přiléhá komora výstupního vzduchu. Vyprazdňovací zařízení je roštového typu s rázovým mžikovým otvíráním pomocí pneumatického servopohonu. Element věže je průchozí krabice vyplněná vzduchotechnickou vestavbou – kanálky pro vstup a výstup sušicího nebo chladicího vzduchu. Do komory horkého vzduchu ve spodní části vstřuje ohřívač nebo v případě použití prostorového plynového hořáku je ohřívač

Obrázek 38 – Sušička Stela MDB - XN 1/13 SU, ZZN Polabí, a.s., Pečky



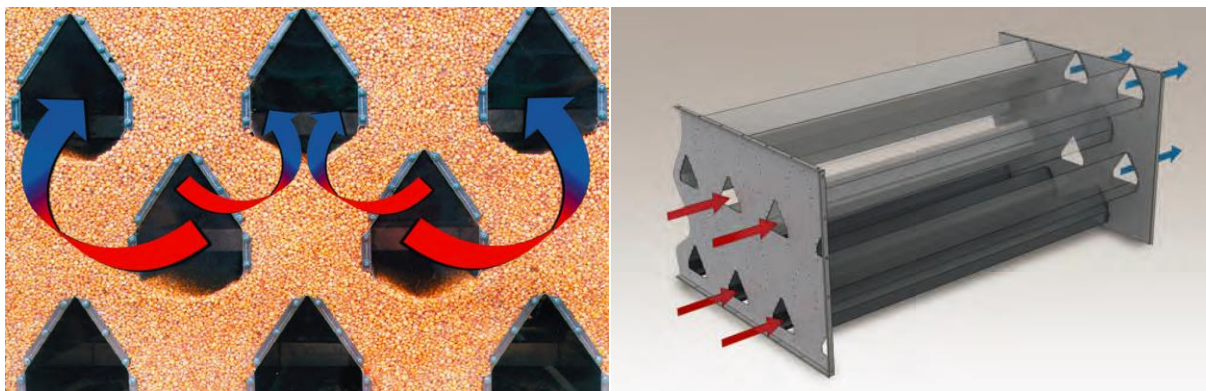
Zdroj: Foto Petr Hovorka

integrován přímo v komoře a vnější ohřívač odpadá. Na komoru výstupního vzduchu je napojen odtahový ventilátor, který může být vybaven omezovačem prašnosti. Systém aktivní rekuperace zahrnuje přídatný ventilátor ve spodní části věže sušičky, která pak tvoří vzduchotěsně uzavřený celek.

Nová generace sušiček STELA BITURBO (*Příloha 10, Příloha 11*) využívá zcela nové prvky, redukuje nezbytném množství horkého vzduchu až o 40 % a tím i specifickou spotřebu energie ve srovnání s běžnými sušičkami využívajícími aktivní rekuperaci tepla. Sušička používá dva spalovací hořáky, přičemž každý z nich je možné nastavit na jinou teplotu. Dochází tedy ke dvoufázovému sušení, při němž je možné významně regulovat množství použitého tepla.

Věž sušičky BITURBO je rozdělena do dvou částí s rozdílnými sušicími teplotami. Spalovací hořáky jsou instalovány „křížem“, takže dochází i k optimálnímu sušení v celé šíři sušicích kanálů (*Obrázek 39*). Zatímco v horní části je sušeno velmi vlhké zrno při teplotách 90 až 120 °C, v té spodní probíhá dosušování při teplotách o mnoho vyšších (130 až 150 °C). Díky tomu, že je kukuřice sušena takto pozvolně, nedochází k poškození zrna a zároveň je ušetřeno značné množství energie. V případě, že je z pole přivezena kukuřice o nižší vlhkosti, je pak možné k sušení využívat pouze jeden hořák, konkrétně ten ve spodní části, a horní část pouze nahřívat.

Obrázek 39 – Sušící kanály šachtové sušárny Stela



Zdroj: www.pawlica.cz

Každá z obou sekcí sušičky BiTurbo má vlastní ventilátor a používá k jiný typ vzduchu. V horní části se ohřívá směs čerstvého venkovního vzduchu se stále teplým vzduchem ze spodní sušící sekce. Tato směs je po prostupu horní vrstvou vlhkého materiálu vypouštěna ze sušící věže ven, jelikož není kvůli vysokému obsahu vody vhodná k další rekuperaci. V dolní části je k čerstvému vzduchu přimícháván vzduch použitý, čímž se opět šetří část energie. Další novinkou zajišťující úspornější provoz sušení kukuřice je systém odprašování Combi-Air-Clean. Obě

technologie BiTurbo i Combi-Air-Clean vykazují velmi nízké emisní hodnoty a značné úspory ve spotřebě plynu a elektrické energie (PAWLICA s.r.o., 2014).

3.4.6.6 Mobilní sušičky

Shora vyjmenované sušičky se dnes více či méně prosazují i v mobilním provedení. Kapacita sušáren je samozřejmě omezená, ale se stále vyššími výkony a rostoucími možnostmi v dopravní technice, se mezi zemědělci stále více otevírá tato otázka.

Sušárny pracují téměř bez výjimky v dávkovém režimu s naskladněním a vyskladněním za pomoci kolové manipulační techniky. Jako palivo většinou slouží LTO (lehký topný olej).

Někteří dodavatelé (pozn. <http://www.pawlica.cz/produkty/susicky-obili-kukurice/mobilni-susicky-stela-na-obili-kukurici/>) nabízí tyto sušičky i formě nájmu, což může být zajímavé z pohledu prvovýrobce, který nepotřebuje stacionární sušičku ať už z důvodu kapacity či nárazové produkce kukuřice, která se suší nejvíce, nebo nedisponuje posklizňovou linkou.

Obrázek 40 – Berberská sýpka v Libyi



Zdroj: Foto Profimedia.cz

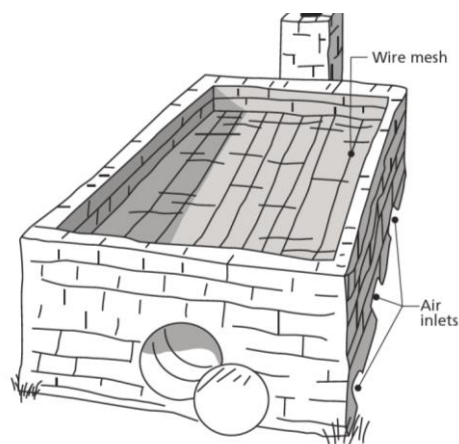
K sušení používaly nejčastěji metody přirozeného sušení, ale i sušení umělé (Obrázek 41).

Historie, pokud to tak lze označit, jsou, ještě stále používané, sušičky typu LSO, které vyráběly TMS nár. podnik Pardubice. Tyto sušárny jsou stále v provozech, kdy byly instalovány s teplovzdušnými výměníky OTV, které vyráběl ČKD, n.p. TATRA Kolín. Příkladem je

3.4.6.7 Historie sušení

Sušení zrnin je proces, který započal s potřebou skladování těchto zemědělských produktů, ale nejen těchto. Dehydratace, jako způsob konzervace, je nejen nejbezpečnějším, nejjednodušším, ale také nejstarším způsobem, jak uchovat potraviny (Obrázek 40).

Obrázek 41 – Primitivní sušárna



sušárna LSO 25 s výměníkem OTV 1500 S, uvedená v referenční tabulce naměřených účinností (Příloha 12).

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

V ČR jsou nejčastěji instalovanými sušárnami sušárny šachtové a kontinuální se štěrbinovým ložem. Vliv na to má rozmanitost pěstovaných komodit a požadavky na univerzálnost strojů a zařízení.

Dalším kritériem pro výběr sušičky jsou legislativní požadavky a historicky umístěná

Obrázek 42 – Výstavba sušiček, Indiana, USA 2016



Zdroj: Foto Petr Hovorka

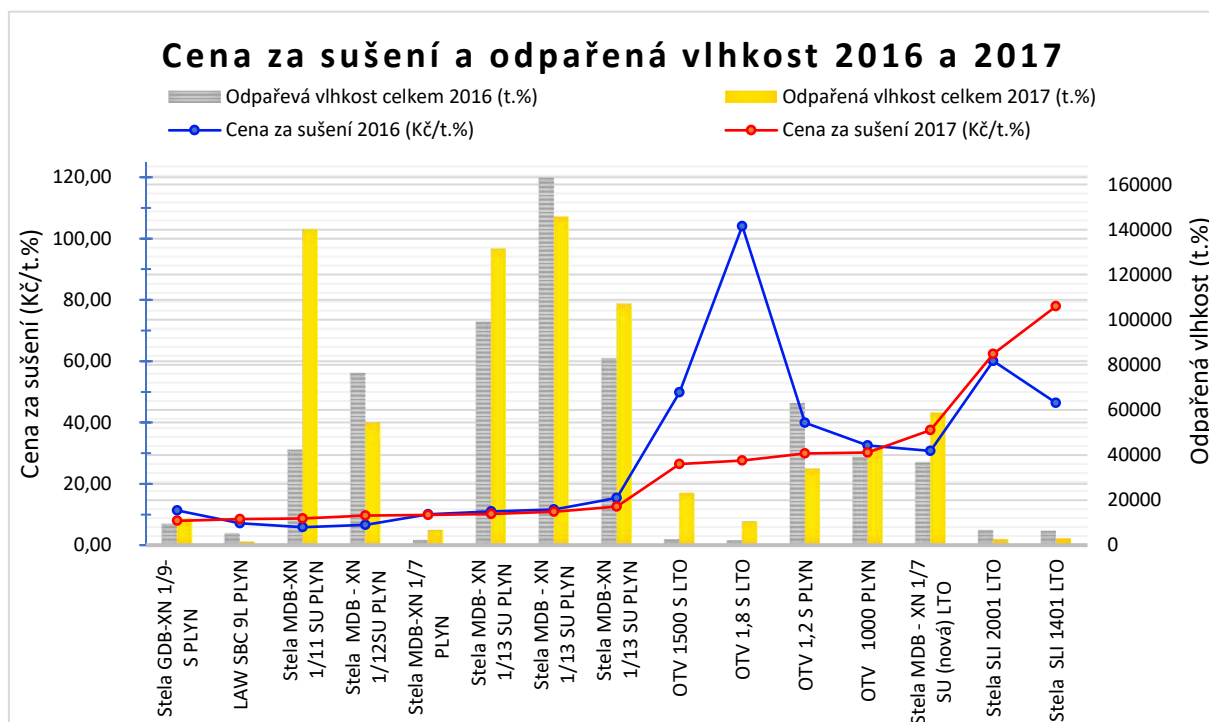
zpracovatelská stanoviště v blízkosti občanské zástavby. Obchodní a výkupní společnosti, které běžně disponují zařízeními na čištění a sušení obilovin, jsou běžně ve městech, v blízkosti rodinné zástavby. Emise tuhých znečišťujících látek, hluk a zastavěná plocha jsou často prvním limitujícím požadavkem při výběru těchto zařízení. V tomto ohledu je na tom Evropa velmi podobně. Na americkém kontinentu, kde jsou zpracovatelské podniky mimo zastavěné oblasti, jsou častěji vidět sušárny věžové, které jsou jednodušší, ale v zastavěných

oblastech Evropy většinou nevyhoví legislativním požadavkům.

Výrobce sušáren Stela uvádí, že měrné náklady na palivo jsou menší než 15 Kč / t·% (pozn.: usušení 1 t o 1 % vlhkosti) a úplné vlastní náklady jsou kolem 20 Kč na 1 t a 1 % vody (pozn.: pro Stela BiTurbo). Tyto údaje můžeme alespoň řádově porovnat spolu s naměřenými hodnotami a účinností nejen sušáren Stela MDB, Stela GDB, ale i s výměníky pro

spalování LTO instalovanými spolu se sušárnami Stela a LSO. V jednom případě máme k dispozici údaje z výměníku OTV spalujícím zemní plyn (Příloha 13).

Obrázek 43 – Graf porovnání efektivity sušení v různých sušárnách



Pozn.: 1 t.% = snížení měrné vlhkosti 1 tuny vlhké zrniny o 1 %

Zdroj: Petr Hovorka, odpočty měřidel vstupních energií sušáren ZZN Polabí, a.s.

Z grafu číslo 3 je zřejmé, že cenu pod 20,- Kč/t.% všechny uvedené sušárny s přímým ohřevem zemním plynem splňují. Tyto sušárny sušily v roce 2017 dokonce pod 13,- Kč/t.% a roce 2016 vyjma jedné dokonce pod 12,- Kč/t.%.

Naproti tomu nejméně ekonomické jsou sušárny s výměníky Stela a palivem LTO.

Uvedené náklady na sušení jsou uvedeny včetně spotřeby elektrické energie, a to jak na vlastní provoz sušičky (pozn. samotný ventilátor sušičky LSO 25 má elektrický příkon 115 kW), tak na provoz dopravních cest sušičky (Příloha 13). Cena za sušení neobsahuje cenu práce obsluhy, investiční odpočty, ztráty na zrnině a další náklady spojenými s provozem sušárny.

Vzhledem k absenci měřidel na čističkách a dopravních cestách posklizňových linek (vyjma shora zmíněných dopravních cest navázaných přímo na sušičky) není možné tuto problematiku objektivně vyhodnotit ve vztahu ke spotřebě energií. Jediným vodítkem jsou vlastní poznatky z provozů, kde až na výjimky není u těchto zařízení dosahováno nominálních výkonů. Skutečná výkonnost se pohybuje okolo 75 až 80 % výkonnosti udávané výrobcem.

Efektivita se různí dle zvoleného zařízení ve vztahu k ostatní technologii posklizňové linky a jediným zdrojem objektivních hodnot jsou tak jsou pouze nové nebo komplexně rekonstruované posklizňové linky, které při správném nastavení a kvalifikované obsluze dosahují výkonnosti okolo 90 % z nominální hodnoty.

Teoretické poznatky ze studia a z různých zdrojů uvedených v seznamu citované literatury byly v průběhu zpracovávání této práce konfrontovány se skutečnými provozmi, zažitými postupy i technickým vybavením, a to převážně v obchodně zemědělské společnosti ZZN Polabí, a.s. a jejich dceřiných společnostech.

5 ZÁVĚR

Touto prací je popsáno, co se děje s obilovinami, kukuřicí a dalšími běžnými zrninami po tom, co jsou přivezeny z pole nebo jiného skladu a vysypány z nákladního vozidla, traktorového návěsu či vleku ať už přímo do skladu nebo příjmového koše posklizňové linky.

Byly popsány též různé způsoby, vlastnosti a vliv dopravních zařízení na zrniny během manipulace, technické parametry nejčastěji používaných čističek a sušáren a vysvětleny principy jejich činnosti a význam pro další operace posklizňové úpravy či skladování.

Pozornost byla věnována i technickým parametrům jednotlivých skladovacích prostor, jejich vlivu a významu aktivního působení na uskladněnou zrninu. Zdůrazněny jsou i podmínky pro bezpečné skladování v nich.

Tyto podmínky vycházejí jak z dlouhodobých praktických zkušeností, tak i z výpočtů a laboratorních zkoušek. Stanovují limitní hodnoty pro skladování tak, aby bylo zabráněno znehodnocení zrnin během skladování, a to působením chemických pochodů nebo kontaminací hmyzem. Především na základě těchto požadavků se provádí posklizňová úprava zrnin.

Práce zmiňuje historické, dnes již zřídka používané technologie, technologie používané v současnosti a uvádí vývojové trendy v ČR i v zahraničí.

Zdrojem informací pro práci byly odborné texty čerpané z různých pramenů, projektové dokumentace jednotlivých strojů i celků posklizňových linek. Získané informace a údaje byly

porovnány s informacemi získanými ve skutečných provozech. V práci jsou zohledněny pracovní zkušenosti autora z působení ve společnosti ZZN Polabí, a.s.

Prezentované výsledky ukazují na rozdíly v efektivitě sušení ve vztahu k použitým topným médiím, stáří technologie, technice sušení a přístupu obsluhy. Vliv topného média na ekonomiku provozu je zásadní. Důležitým faktorem je vliv výměníku. Jak je uvedeno v grafu v kapitole 4. (*Obrázek 43 – Graf porovnání efektivit sušení v různých sušárnách*). Výměňikem jsou vybaveny všechny uvedené LTO sušárny a dvě sušárny plynové.

Ekonomika provozu sušáren je velmi ovlivněna technikou sušení. Lze-li v dané lokalitě sušit i v nočním provozu, nebo to legislativa zakazuje. Sušárny a jejich ventilátory jsou významným zdrojem hluku. Hygienické limity jsou 50 dB v denním provozu a 40 dB v nočním provozu. Noční limit je pro pracující sušárnu prakticky nedosažitelnou hodnotou. V oblastech s občanskou zástavbou nelze tyto sušárny provozovat v nepřetržitém režimu. Díky nutnosti roztopení sušárny před najetím na sušení a poté postupným útlumem před odstavením naprázdno, dochází v tuto dobu k energeticky zcela jalovému provozu.

Ekonomiku provozu ovlivňují i platby za rezervovanou kapacitu plynu (dovolené množství odebraného plynu během 24 hodin) a rezervovaný čtvrt hodinový příkon elektrické energie. Tyto platby jsou zohledněny ve spotřebách uvedených v příložené tabulce (*Příloha 13*), která je podkladem pro graf v kapitole 4. *Výsledky a diskuse (Obrázek 43)*.

Na efektivitu posklizňových linek má významný vliv jejich stáří, použité technologické prvky, a jejich pohony. V posklizňových linkách se stářím technologie 20 let a více jsou jen výjimečně instalovány pohony přesně dimenzované podle potřeby dopravní cesty. To platí i pro ventilátory sušáren, aktivního větrání nebo aspirace. Dnešní technické možnosti a výpočetní technika dokáží navrhnout pohon bez zbytečné výkonové rezervy, s úzkým spektrem použitelnosti. U pohonů navrhovaných do posklizňových linek velkokapacitních sil druhé poloviny 20. století byly instalovány pohody s širokou použitelností, ale s předimenzovaným výkonem a použitých materiálů převodových ústrojí.

S ohledem na rychlý růst cen energií, lidské práce, stoupající nároky legislativy a mohutného nárůstu nových posklizňových linek a podpoře v podobě dotačních titulů je třeba se nyní zaměřit na obnovu stávajících technologií. Pozornost je třeba věnovat převážně technologiím v betonových silech budovaných v ČR od 50. let minulého století. Nároky těchto zastaralých technologií na kvalifikovanou obsluhu, údržbu, opravy a energie jsou příliš vysoké. Náhrada

betonových sil za nová s vnější technologií je vzhledem k ceně případných demolic těchto sil a životnosti betonové stavby neekonomická. Jedinou cestou je tedy kompletní obnova technologií ve stávajících stavbách s vyspělou regulací a počítačovým řízením.

Lze konstatovat, že díky dotacím OPPIK na obnovy s úsporou energií došlo k masivní obměně starých neefektivních sušáren za nové s rekuperací energie, úspornějšími ventilátory a efektivnějšími plynovými hořáky. V nejbližší době, a to i díky avizovanému konci dotací, nelze předpokládat výraznou poptávku po nových sušárnách ani investice do vývoje nových technologií. V praxi je patrný sklizňový trend – sklídit co nejrychleji a co nejsušší materiál. Z toho vyplývá, že se sušení v podmínkách ČR bude týkat převážně kukuřice.

Využití alternativních a obnovitelných zdrojů energií je trendem dnešní doby, avšak požadavky na teplo potřebné k provozu sušáren jen těžko dovolují nahradit plyn adekvátní alternativou. Tou by mohly být bioplynové stanice, ale vzhledem ke stálému snižování živočišné výroby, zvyšujícím se všeobecným požadavkům na energie, sezónnosti sušení a možnostem výroby biopaliv z rostlinné produkce nepůjde o globální záležitost, o žádný zásadní průlom.

Možná je to výzva, snad by bylo možné využít sluneční energii nebo vodík... V nejbližší době pravděpodobně nelze očekávat poptávku po nových řešeních.

6 CITOVANÁ LITERATURA

Alvan Blanch Czech s.r.o. 2018. Kontinuální sušárny zrnin. [Online] 2018. [Citace: 31. 12 2018.] <http://www.alvanblanch.cz/include/obsah/kontinualni-susarny/download/files/AB-DF-brochure-CZ.pdf>.

BEDNAR FMT s.r.o. 2018. Horizontální sušárny. *Bednar Farm Technology*. [Online] BEDNAR FMT s.r.o., 2018. [Citace: 31. 12 2018.] <http://www.poskliznove-linky.eu/cz/suseni/susarny-gsi-horizontalni>.

—, 2018. Obilní pumpy. *Bednar Farm Technology*. [Online] BEDNAR FMT s.r.o., 2018. <http://www.poskliznove-linky.eu/cz/manipulace/dopravniky-obilni-pumpy>.

—, 2019. Věžové sušárny. *Bednar Farm Technology*. [Online] BEDNAR FMT s.r.o., 2019. [Citace: 1. 1 2019.] <http://www.poskliznove-linky.eu/cz/suseni/susarny-gsi-vezove#popis>.

Bradna, Jiří. 2015. *Skladování osiv*. [PDF Dokument] Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2015.

Doležel, Jaroslav. 2011. Zvýšení produkce obilovin je nezbytné. Jinak hrozí hladomor. *Eurozprávy*. [Online] 6. duben 2011. <https://eurozpravy.cz/domaci/spolecnost/25710-zvyseni-produkce-obilovin-je-nezbytne-jinak-hrozi-hladomor/>.

FAO. 2009. 2050: A third more mouths to feed. *FAO*. [Online] 23. září 2009. <http://www.fao.org/news/story/en/item/35571/icode/>.

Gebr. Ruberg GmbH & Co. KG. 2011. GEBR. Ruberg - Aspirators. *Vítejte v GEBR. RUBERG - Zemědělská technika*. [Online] 2011. https://www.g-ruberg.de/RUBERG-CMS/RUBERG-AGRAR/index.php?view=article&catid=37%3Aanglisch&id=115%3Aaspirateure&tmpl=component&print=1&layout=default&page=&option=com_content&Itemid=159.

Grdzelišvili, Gulnara a Hoffman, Pavel. 2010. *Sušení rostlinných materiálů*. Brno : Ústav procesní a zpracovatelské techniky, Strojní fakulta, ČVUT v Praze, 2010.

IRRI. 2009. Sušení zrna - podmínka bezpečného skladování obilí. *WikiWisual*. [Online] IRRI, 2009. [Citace: 5. 12 2018.] https://wikivisually.com/wiki/Grain_drying#cite_note-1.

Kalinová, Jana, a další. 2007. *Posklizňová úprava, skladování a zpracování rostlinných bioproduktů*. České Budějovice : Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta, ediční středisko., 2007.

Kolomazník, Jiří, Fryzelka, Petr a Hoffmanová, Libuše. 2006. Správná výrobní praxe pro skladování zrnin a olejnin - Pravidla správné praxe pro posklizňovou úpravu zrnin a olejnin. *Zemědělec Odborový a stavovský týdeník*. [Online] 8. 1 2006. [Citace: 27. 12 2018.] <https://zemedelec.cz/poskliznova-uprava-zrnin-a-olejnin/>. ISBN:80-7084-561-9.

Křepelka, Jiří, Malat'ák, Jan a Bradna, Jiří. 2013. Posklizňová úprava v halových skladech. *Zemědělec - Odborný a stavovský týdeník*. [Online] 8. 2 2013. [Citace: 30. 12 2018.] <https://zemedelec.cz/poskliznova-uprava-v-halovych-skladech/>.

Kumhála, F. a kolektiv. 2007. *Zemědělská technika: Stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Praha : Powerprint s.r.o., 2007. 978-80-213-1701-7.

Kumhála, František. 2018. *Zpracování partikulárních látek*. [<https://moodle.czu.cz/course/view.php?id=11646>] Praha : ČZU Praha, 2018.

Malat'ák, Jan a Bradna, Jiří. 2012. Udržitelnost požadované kvality zrna. *Odborný a stavovský týdeník Zemědělec*. [Online] 20. 1 2012. <https://zemedelec.cz/udrzitelnost-pozadovane-kvality-zrna-2/>.

Maleř, Josef. 1996. *Posklizňové ošetřování zrnin*. Praha : Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky v Praze, 1996.

Neubauer, Karel a kolektiv. 1986. *Stroje pro rostlinnou výrobu III*. Praha : Vysoká škola zemědělská Praha v Čs. redakci VN MON, 1986. 52/86.

neznámý, autor. *Mendel Univerzity in Brno*. [Online] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=4955.

PAWLICA s.r.o. 2014. Sušičky kukuřice Stela BiTurbo. *PAWLICA technologie sušení a skladování komodit*. [Online] PAWLICA s.r.o., 2014. [Citace: 1. 1 2019.] <http://www.pawllica.cz/produkty/susicky-obili-kukurice/stacionarni-susicky-stela-na-obili-kukurici/stacionarni-susicky-na-kukurici/susicka-kukurice-stela-biturbo.html>.

Skalický, Jaroslav, a další. 2008. *OŠETŘOVÁNÍ A SKLADOVÁNÍ ZRNIN VE VĚŽOVÝCH ZÁSOBNÍCÍCH A HALOVÝCH SKLADECH*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i., Praha 6 – Ruzyně, 2008. ISBN 978-80-86884-38-7.

Skandia. 2018. Produkty - KTIS. *PRODUKTY/I-LINE/DOPRAVNÍKY/KTIS*. [Online] Skandia Elevator, 2018. [Citace: 26. 12 2018.] <https://skandiaelevator.com/en/produkt/ktis/?c=Czech%20Republic>.

Továrny mlýnských strojů, n.p., Parubice. 1983. Sušárna obilí typ LSO. *Sušárny LSO 10-50t/hod*. Pardubice : odd. OTS, 1983. MTZ 30 37695 83.

Venkatadri, Thindi. 2016. Drying. <http://vikaspedia.in/agriculture/post-harvest-technologies>. [Online] 22. 6 2016. [Citace: 29. 12 2018.] <http://vikaspedia.in/agriculture/post-harvest-technologies/technologies-for-agri-horti-crops/post-harvest-management-of-pulses/drying#section-1>.

X-Trade Brokers. 2013. Komodity: Globální produkce obilovin dosáhne nové maximum, FAO. *FXstreet.cz*. [Online] 6. prosinec 2013. <https://www.fxstreet.cz/zpravodajstvi-59319.html>.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Betonové silo 21kt, Kolín 1968	6
Obrázek 2 – Výstavba ocelového sila 50kt, Kolín 1984	7
Obrázek 3 – Sila Brock, Štolfa, VŽKG, Klučov 1960 až 2016.....	8
Obrázek 4 – Betonáž provzdušňovacích kanálů, Chotětov 2015	9
Obrázek 5 – Montáž celoprovzdušněné podlahy, Křinec 2018.....	10
Obrázek 6 – Varianty provzdušnění zrnin, Veletrh Hannover 2015	12
Obrázek 7 – Řídicí monitor sila 21kt, Kolín 2016	13
Obrázek 8 – Vybírací šneková fréza.....	15
Obrázek 9 – Posklizňová linka s příjmovou halou a sily 10kt Pawlica, Křinec 2018.....	17
Obrázek 10 – Montáž redleru	18
Obrázek 11 – Princip redleru.....	19
Obrázek 12 – Řetězový dopravník Skandia KTIS, veletrh Hannover 2015.....	20
Obrázek 13 – Protiproudé plnění korečků	20
Obrázek 15 – Souproudé plnění korečků	21
Obrázek 14 – Schéma korečkového elevátoru	21
Obrázek 16 – Princip válcové čističky a třídičky s aspirací před vstupem do válcových sít ...	25
Obrázek 17 – Předčistička s válcovými síty Marot	26
Obrázek 18 – Aspirátor lehkých a středně těžkých nečistot Marot.....	26
Obrázek 19 – Rozměry zrn.....	28
Obrázek 20 – Bubnová čistička a předčistička s aspirátorem Marot.....	29
Obrázek 21 - Pohyb zrna ve vrstvě válcovým sítém	30
Obrázek 22 – Princip válcového triéru	30
Obrázek 23 – Rozmístění a tvary otvorů v sítích.....	31
Obrázek 24 – Režim recirkulace	32
Obrázek 25 – Režim odvodu vzduchu.....	32
Obrázek 26 – Třídič Ruberg, r.v. 1890.....	33

Obrázek 27 – Tříděč Ruberg, r.v. 1945	33
Obrázek 28 – Operační schéma kombinované čističky Ruberg RVS 40 Aspirators.....	33
Obrázek 29 – Kombinovaná čistička obilí Ježek	34
Obrázek 30 – Ventilovaná kukuřičná sýpka se stavěla delší stranou proti převládajícím větrům	36
Obrázek 31 – Sušárna pro mělké volně sypané vrstvy. Síťové dno, střecha z průhledného plastu.....	36
Obrázek 32 – Účinky při skladování za různé teploty a vlhkosti	37
Obrázek 33 – Sušení vrstvy zrniny.....	37
Obrázek 34 – Rovnovážný diagram vlhkosti při konstantní teplotě	41
Obrázek 35 – Schéma teoretické konvekční sušárny	43
Obrázek 36 – Diagram křivek sušícího procesu.....	44
Obrázek 37 – Věžová sušárna Brock.....	48
Obrázek 38 – Sušička Stela MDB - XN 1/13 SU, ZZN Polabí, a.s., Pečky.....	49
Obrázek 39 – Sušící kanály šachtové sušárny Stela	50
Obrázek 40 – Berberská sýpka v Libyi	51
Obrázek 41 – Primitivní sušárna	51
Obrázek 42 – Výstavba sušiček, Indiana, USA 2016.....	52
Obrázek 43 – Graf porovnání efektivity sušení v různých sušárnách	53

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Doba skladování v závislosti na vlhkosti	5
Tabulka 2 – Množství atmosférického vzduchu k provzdušňování	38
Tabulka 3 – Typická odolnost proti průtoku vzduchu (Pa) na 1 metr výšky plodiny	39
Tabulka 4 – Závislost střední rychlosti ochlazování zrna na množství vzduchu	39

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Protokol o schválení změna kapacity sila Kolín 1963

Příloha 2 – Technologické schéma posklizňové linky, Křinec ZAS Podchotucí, a.s. 2018

Příloha 3 – Tabulka rozměrů a kritických rychlostí semen zrnin a semen plevelů

Příloha 4 – Pokles výkonnosti čističek podle způsobu čištění, referenční čističky řady
PETKUS

Příloha 5 – Pokles výkonnosti čističek dle druhu sklizených zrnin

Příloha 6 – Pokles výkonnosti čističek podle obsahu vody a nežádoucích komponentů

Příloha 7 – Horizontální sušárna GSI, zdroj BEDNAR FMT s.r.o.

Příloha 8 – Kontinuální sušárna Alvan Blanche, zdroj Alvan Blanch Czech s.r.o.

Příloha 9 – Věžová sesypná sušárna GSI, zdroj BEDNAR FMT s.r.o.

Příloha 10 – Sušička STELA BiTurbo, zdroj Pawlica, s.r.o.

Příloha 11 – Technický výkres sušička STELA BiTurbo, zdroj Pawlica, s.r.o.

Příloha 12 – Sušárna typu LSO

Příloha 13 – Tabulka reálných spotřeb sušiček, zdroj ZZN Polabí, a.s.

Příloha 1 – Protokol o schválení změna kapacity sila Kolín 1963

DOKLAD Č. 1

Ustřední správa nákupu
zemědělských výrobků

P r a h a

Praha 28.11.1963
čj.:1750/63-52

PROTOKOL

o schválení změny kapacity obilního sila a investičních nákladů.

Název stavby : obilní silo
Přímý investor : Zemědělský nákup. a zás. podnik, n.p. PRAHA
Gen. projektant : Projektová organizace ÚSN ZV Praha
Místo stavby : K o l í n okres: Kolín
Kraj : Středočeský, Praha

Stavba je zařazena v seznamu jmenovitě schvalovaných staveb na rok 1964.

Investiční úkol na obilní silo o kapacitě 18.200 tun byl schválen protokolem čj. 1200/63-52 ze dne 19.7.1963 o celkovém orientačním nákladu 14.235.000 Kčs.

Sekretariátem předsedy ÚSN ZV bylo rozhodnuto použít opakovaného projektu obilního sila Nový Bydčov o kapacitě 21.000 t.

Ve smyslu vyhlášky SVV 152/59 Ú.l. o dokumentaci staveb;

s c h v á l u j í

změnu kapacity a investičního nákladu a určují :

<u>Celkový orientační náklad :</u>	<u>Kčs 14.200.000</u>
z toho stavební práce :	Kčs 11.400.000
stroje a montáž :	Kčs 2.900.000

Kapacita : 21.000

Termín vypracování jednostupňové dokumentace do 31.3.1964.

Ostatní podmínky schvalovacího protokolu ze dne 19.7.1963 se považují za závazné.

J. Č e r n ý
Podpis: J. Černý

Příloha 2 – Technologické schéma posklizňové linky, Křinec ZAS Podchotucí, a.s. 2018

Samostatný list vložený do obálky na zadních deskách

Příloha 3 – Tabulka rozměrů a kritických rychlostí semen zrnin a semen plevelů

Plodina	Rozměr			Kritická rychlost /m.s ⁻¹ /
	tloušťka /mm/	šířka /mm/	délka /mm/	
Obilniny				
Pšenice	1,5 - 3,8	1,6 - 4,0	4,2 - 8,6	8,9 - 11,5
Ječmen	1,4 - 4,5	2,0 - 5,0	7,0 - 14,6	8,4 - 10,8
Žito	1,2 - 3,5	1,4 - 3,6	5,0 - 10,0	8,4 - 10,5
Oves	1,2 - 3,6	1,4 - 4,0	8,0 - 18,6	7,0 - 9,0
Kukuřice	2,5 - 8,0	5,0 - 11,5	5,5 - 13,5	9,8 - 17,0
Pohanka	2,0 - 4,2	3,0 - 5,2	4,4 - 8,0	2,5 - 9,5
Proso	1,0 - 2,2	1,2 - 3,0	1,8 - 3,2	2,5 - 9,5
Čumíza	0,9 - 1,8	1,3 - 2,3	1,3 - 2,5	3,5 - 8,0
Luštěniny				
Hrách	3,5 - 10,0	3,7 - 10,0	4,0 - 10,0	7,0 - 17,0
Čočka	2,0 - 3,3	4,0 - 8,0	4,0 - 8,8	4,0 - 13,0
Fazol	2,7 - 10,0	4,7 - 11,0	7,2 - 18,5	11,0 - 16,5
Vikev	2,0 - 5,0	3,2 - 6,3	3,2 - 7,5	4,0 - 16,0
Sója	4,0 - 7,0	4,5 - 8,0	5,0 - 10,5	9,0 - 20,2
Hrachor	3,7 - 8,0	6,0 - 11,0	6,5 - 15,0	7,0 - 14,0
Cizrna	5,0 - 9,0	5,0 - 11,0	6,5 - 11,0	6,0 - 16,5
Olejníky				
Slunečnice	1,7 - 6,0	3,5 - 8,6	7,5 - 15,0	4,0 - 14,0
Řepka	1,6 - 2,2	1,8 - 3,0	1,8 - 3,0	3,0 - 10,5
Lnička	0,6 - 1,3	0,8 - 1,5	1,5 - 2,5	4,5 - 8,5
Len	0,5 - 1,5	1,7 - 3,2	3,2 - 6,0	3,5 - 8,5
Konopí	2,0 - 3,8	2,7 - 4,8	3,0 - 5,5	5,0 - 11,1
Mák	0,6 - 0,8	0,9 - 1,1	1,15 - 1,35	1,5 - 6,5
Jeteloviny				
Jetel červený	0,6 - 1,4	1,0 - 2,0	1,2 - 2,7	4,0 - 8,0
Jetel bílý	0,4 - 1,1	0,8 - 1,4	0,8 - 1,8	2,0 - 6,5
Jetel švédský	0,4 - 1,1	0,8 - 1,4	0,8 - 1,8	3,0 - 7,0
Vojtěška	0,5 - 1,3	0,8 - 2,0	1,1 - 2,5	2,5 - 8,0
Vičenec	1,7 - 4,0	3,0 - 6,0	4,0 - 8,0	3,5 - 8,3
Travniny				
Bojíněk	0,4 - 1,0	0,6 - 1,3	1,2 - 2,3	1,8 - 6,0
Kostřava	0,5 - 1,5	1,2 - 2,5	2,7 - 5,0	0,5 - 3,7
Jílek	0,5 - 1,5	1,0 - 2,3	4,0 - 8,0	1,5 - 5,5
Srha	0,5 - 1,5	0,9 - 2,5	4,5 - 7,5	0,8 - 6,0
Lipnice	0,4 - 0,8	0,6 - 1,0	1,5 - 2,5	0,2 - 4,5
Psárka	0,4 - 1,2	1,4 - 2,8	3,2 - 6,5	0,3 - 5,2
Semena plevelů				
Koukol polní	1,6 - 3,0	2,0 - 3,8	2,8 - 4,4	3,0 - 10,5
Merlík bílý	0,5 - 1,4	0,9 - 1,6	0,7 - 1,5	2,0 - 7,0
Pryšec	0,8 - 2,2	1,5 - 2,8	1,5 - 2,8	5,0 - 10,0
Ovsíř	1,2 - 3,0	1,4 - 3,2	15,0 - 25,0	7,0 - 12,0
Svlačec rolní	1,1 - 2,8	1,4 - 3,4	3,0 - 4,1	4,5 - 10,0
Pýr obecný	0,8 - 2,0	1,4 - 3,5	6,8 - 12,0	2,0 - 6,0
Kopretina nevonná	0,5 - 1,0	0,8 - 1,4	1,2 - 2,5	0,5 - 4,5
Chrpa polní	0,9 - 1,5	1,3 - 2,8	3,2 - 5,3	1,0 - 6,5
Šťovík	0,7 - 1,2	0,9 - 1,7	1,0 - 2,0	2,5 - 6,0
Svízel přítula	0,6 - 1,2	0,6 - 1,8	1,3 - 2,3	2,5 - 6,5
Jitrocel				
kopinatý	0,5 - 1,2	0,9 - 1,7	2,3 - 2,9	3,6 - 7,5
Ohnice	3,7 - 4,2	3,0 - 5,9	4,7 - 6,5	2,8 - 10,0

Příloha 4 – Pokles výkonnosti čističek podle způsobu čištění, referenční čističky řady PETKUS

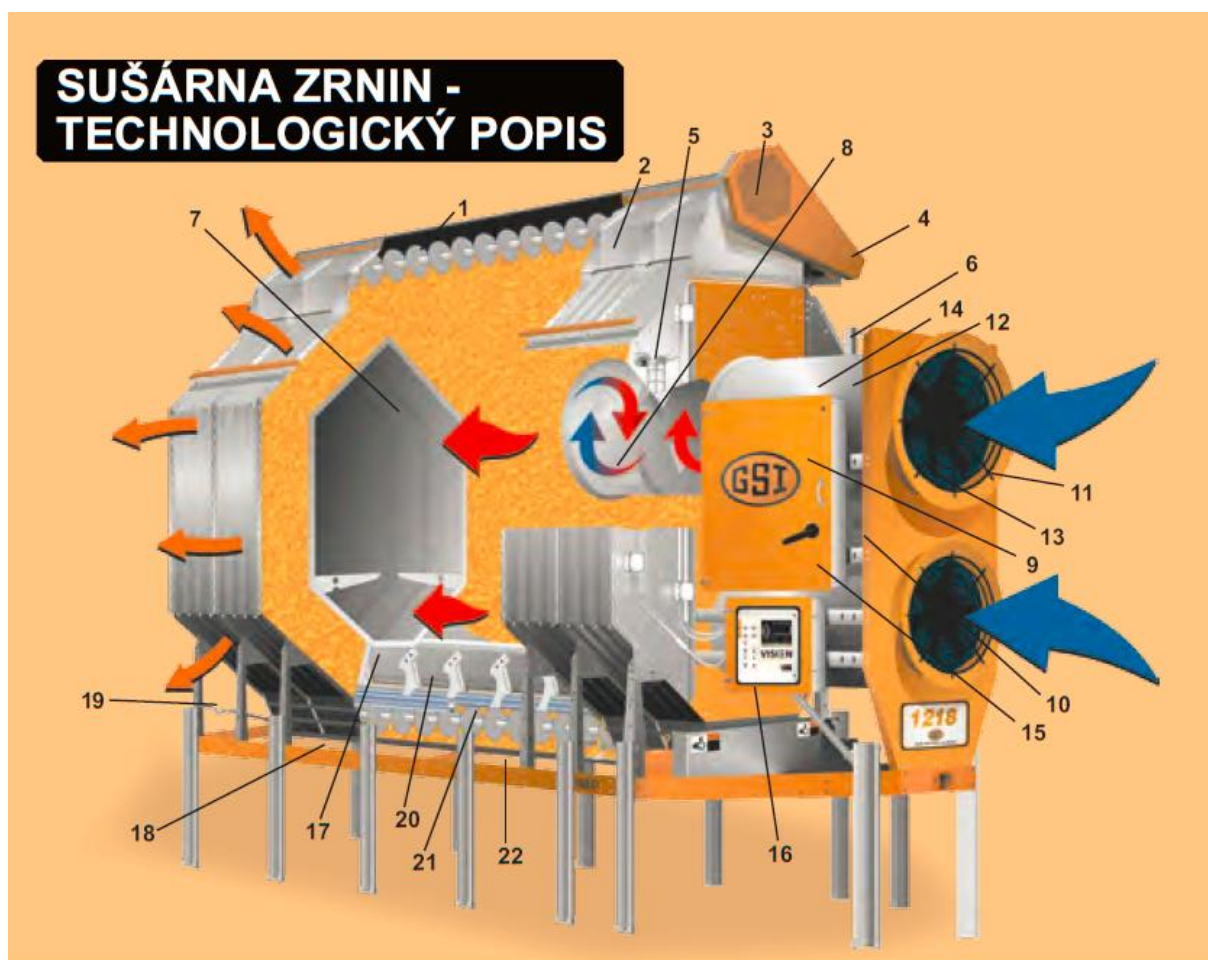
Plodina	Výkonnost t.h ⁻¹ / u řady		
	U-40	U-60	U-80
Pšenice - předčištění	40	60	80
- intenzivní čištění	15	25	40
- čištění osiv	4	6	12

Příloha 5 – Pokles výkonnosti čističek dle druhu sklizených zrnin

Druh zrnin	Korekční faktor	Výkonnost t.h ⁻¹ /
Pšenice	1,00	10
Ječmen jarní	0,95	9,5
Ječmen ozimý	0,80	8
Žito	0,90	9
Oves	0,70	7
Hrách	1,10	11
Bob	1,20	12
Vikev jarní	0,70	7
Vikev ozimá	0,70	7

Příloha 6 – Pokles výkonnosti čističek podle obsahu vody a nežádoucích komponentů

Obsah vody v zrninách [%]	Obsah nežádoucích komponentů v zrninách [%]	Korekční faktor	Výkonnost t.h ⁻¹ /
Do 18	5	1	10
	10	0,9	9
	15	0,8	8
19 až 22	5	0,9	9
	10	0,8	8
	15	0,7	7
23 až 26	5	0,9	9
	10	0,7	7
	15	0,6	6



VĚTŠÍ OBJEMOVÁ KAPACITA

Umožní usušit více tun za hodinu. Delší doba držení zrniny v sušárně napomáhá k lepší kvalitě zrna.

DVOUPOLOHOVÉ CYKLOVÁNÍ

Pomáhá udržovat rovnoměrnou teplotu v komoře (vysoký/nízký plamen).

35 cm (14") široké oddíly udrží maximální množství obilí a minimalizují rozdíl mezi vnitřkem a vnějším oddílem.

Jednotlivé komory obsahují také vzduchovou směšovací komoru, ve které se důkladně promíchá vzduch s teplem, a která chrání oddíl obilí před přímým kontaktem s infračerveným zářením hořáku.

Několik tepelných zón ve dvou a víceventilátorových sušárnách zajišťuje navádění nejteplejšího vzduchu na největší obilí.



VOLITELNÉ ZAPÍNÁNÍ A VYPÍNÁNÍ PLAMENE

Umožňuje větší rozsah regulace teploty v komoře např. v teplém období.



HVĚZDICOVÉ HOŘÁKY

Poskytují optimální dodávku tepla a nižší provozní náklady. Součástí PB jednotky je výparník, tudíž není zapotřebí vybudovat odpařovací stanici.

PROUDĚNÍ VZDUCHU

Dimenzované je tak, aby bylo dosaženo konzistentního proudění vzduchu.

SMĚŠOVACÍ LOPATKY

Vytváří rovnoměrnou teplotu v komoře.



NASTAVITELNÉ PRŮTOKOVÉ PROPUSTI

Při větším znečištění zrna umožní přizpůsobit průtok zrniny tak, aby se nadále rovnoměrně usušilo v jednotlivých sloupcích sušárny.



1 Rozhmovací šnek se zesílenými kraji uchycený v kluzných ložiskách



12 Spalovací komora s ventilátorem

2 Zásobník vlhkého zrna



13 Lopatky ventilátoru rozdmychávají ohřátý vzduch od hořáku



3 Děrovaný kryt umožňuje snadnou kontrolu řemenice šneku a kontrolu provozu



14 Pozinkovaný kryt ventilátoru minimalizuje vznik koroze, čímž prodlužuje životnost

4 Napínací matice pro napnutí řemene rozhmovacího šneku



15 Elektrický obvod je bezpečně vypínán vypínačem umístěným do kliky na rozvaděči



5 Pracovní světlo



16 Dotykové ovládání sušárny

6 Žebřík pro snadný přístup k horní části sušárny



17 Kryt pro přístup k vyskladňovacímu šneku



7 Vrstva zrna zajišťující maximální výkon a efektivnost sušení



18 Dvířka pro jednoduché a rychlé bezpečnostní vyprázdnění

8 Komora ohřívacího sušícího vzduchu



19 Čistící dvířka pro snadné čištění spodního šneku



9 Rozvaděč sušárny



20 Nastavitelná klapka regulující objemové množství protékajícího zrna

10 Senzor tlaku vzduchu v komoře



21 Turniketové podavače z tvrzené hliníkové slitiny pro regulaci průtoku sušené zrniny

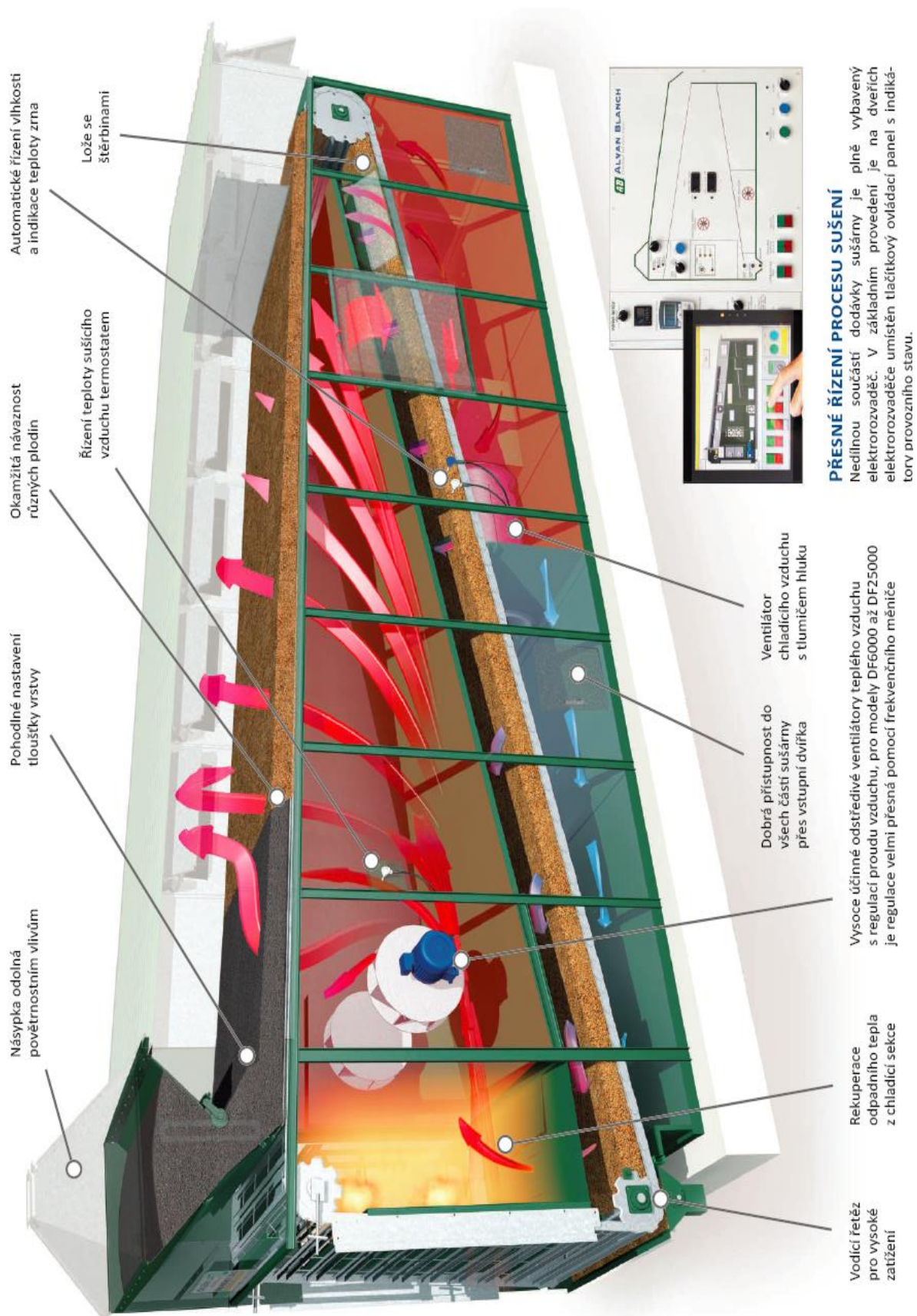


11 Vzduchová zařízení pro maximální proudění vzduchu a rovnoměrnou teplotu.



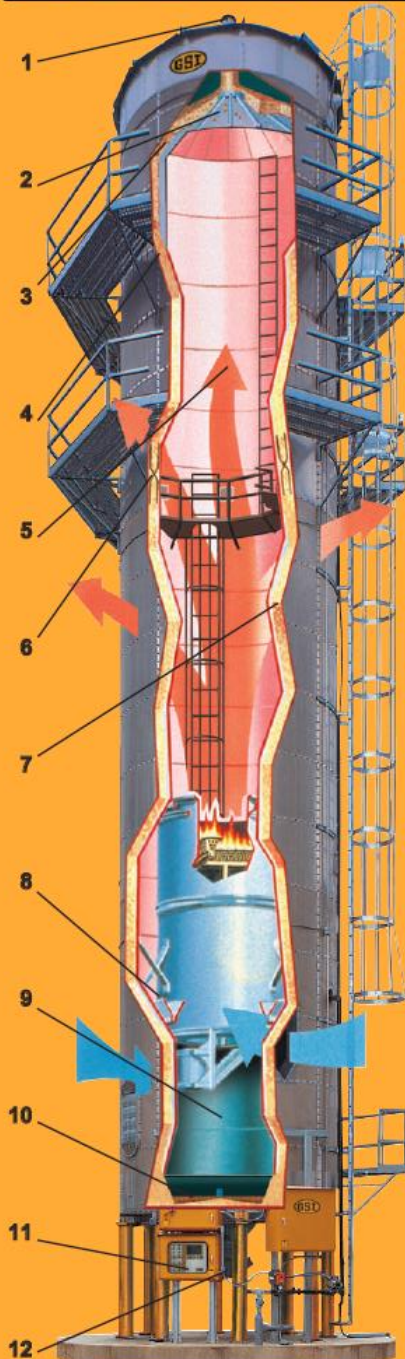
22 Vyskladňovací šnek o průměru 203 mm

Příloha 8 – Kontinuální sušárna Alvan Blanche, zdroj Alvan Blanche Czech s.r.o.



Příloha 9 – Věžová sesypná sušárna GSI, zdroj BEDNAR FMT s.r.o.

VLASTNOSTI ZAŘÍZENÍ SPOLEČNOSTI GSI



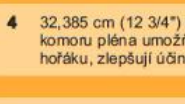
1 Spádový vstup nevyžaduje použití vyrovnávacího šneku a snižuje počet pohyblivých částí.



2 Samočisticí tlumící kazeta na střeše pléna zamezuje poškození obilí a opotřebení střechy pléna.



3 Motorizovaný monitor hladiny obilí určený pro bezproblémové a spolehlivé řízení.



4 32,385 cm (12 3/4") oddíl obilí obklopující ohřívací komoru pléna umožňují, aby obilí obdrželo všechny BTU z hořáku, zlepšují účinnost a zároveň zajišťují snížení hluku.



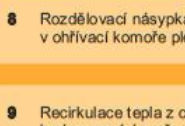
5 Nízkou rychlostí rovnoměrně ohříváný vzduch zlepšuje účinnost a kvalitu a zároveň snižuje emise částic.



6 Patentované inventory obilí slouží k vyrovnávání obsahu vlhkosti oddílů a teploty oddílů obilí a významně zlepšují kvalitu a účinnost.



7 Vnější desky z nerezové oceli významně prodlužují životnost a zlepšují vzhled sušárny. Různé rozměry děrování mřížky slouží ke snižování emisí.



8 Rozdělovací násypka zabraňuje usazování částic v ohřívací komoře pléna a zjednodušuje údržbu.



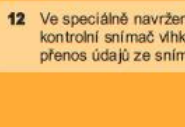
9 Recirkulace tepla z chladnoucího obilí vede k významné úspoře paliva.



10 Utěsněná výstupní sekce zadržuje materiál částic.



11 Technologicky vyspělý ovládací panel Vision společnosti GSI.

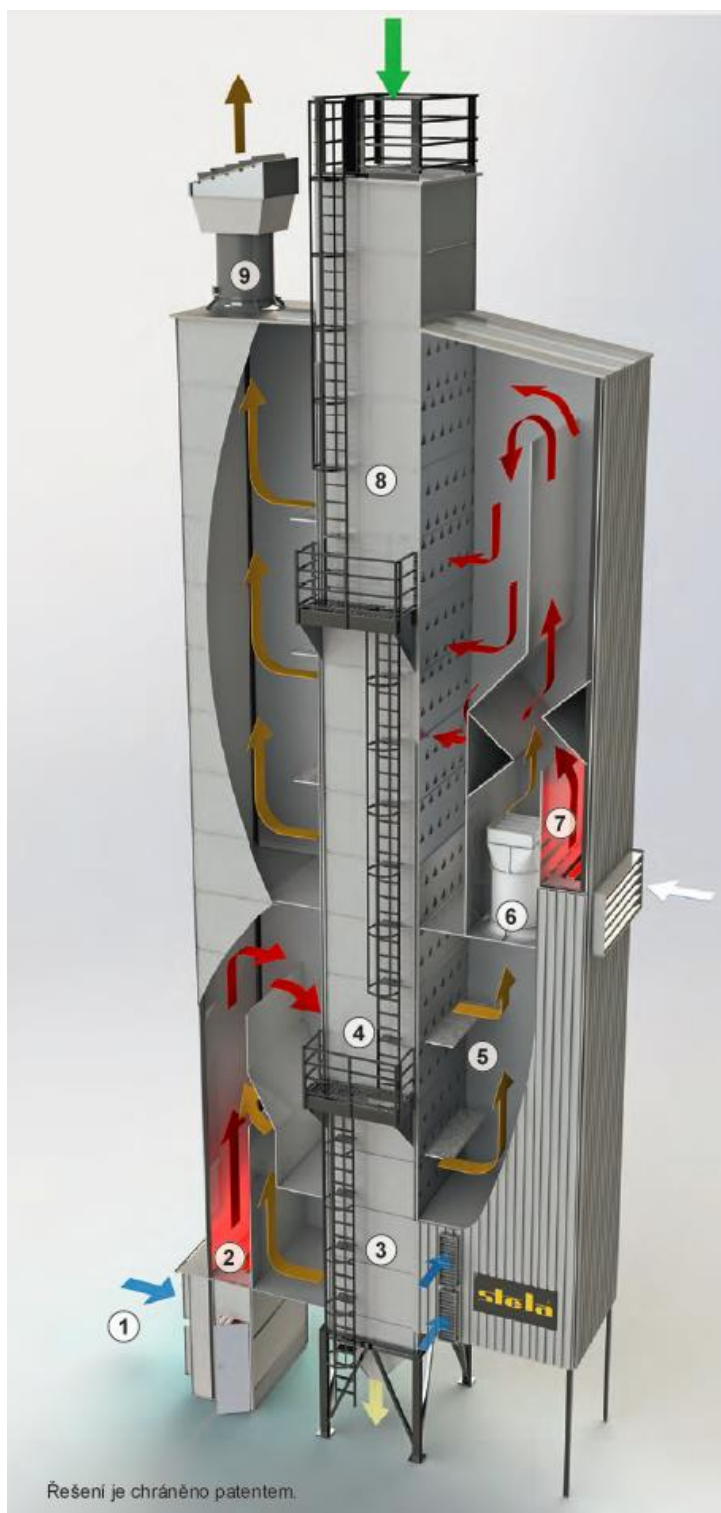


12 Ve speciálně navrženém systému řízení proudění je uložen kontrolní snímač vlhkosti. Tím je zajištěn neustálý přesný přenos údajů ze snímače zpět do systému regulace vlhkosti.



Tento produkt je chráněn následujícími americkými patenty: 6233843, 6189235, 6141886, 6101742, 6098305, 6068929, 6076276, 6073367, 6073364, 5570521, 6457256, 6035544, 5860221, 5653043, 5651193, 5604996, 5566470, 5400525.

Příloha 10 – Sušička STELA BiTurbo, zdroj Pawlica, s.r.o.



- 1 – přívod čerstvého vzduchu
- 2 – prostorový plynový hořák
- 3 – chladičí zóna
- 4 – spodní části sušící věže
- 5 – výstupní vzduch ohřátý vyšší teplotu
- 6 – horní ventilátoru
- 7 – mísení s předeřtým vzduchem
- 8 – horní oblast s vlhkým produktem
- 9 – výstupní ventilátor

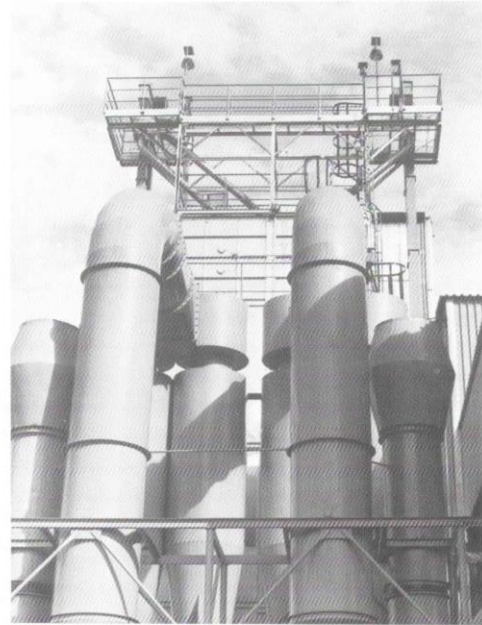
Příloha 11 – Technický výkres sušička STELA BiTurbo, zdroj Pawlica, s.r.o.

Samostatný list vložený do obálky na zadních deskách

Příloha 12 – Sušárna typu LSO

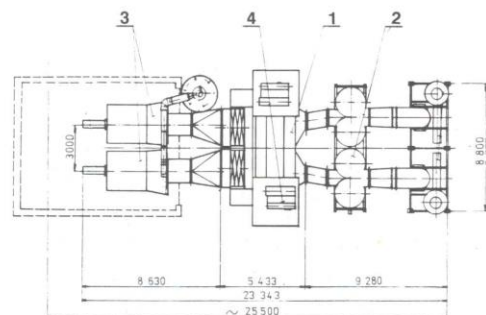
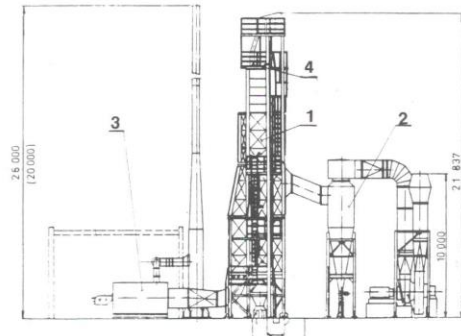


SUŠÁRNY LSO 10 – 50 t/h
СУШИЛКИ LSO 10 – 50 т/час



Sušárny
LSO 10 – 50 t/h

Сушилка LSO
10 – 50 т/час



HLAVNÍ TECHNICKÁ DATA • ГЛАВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

typ	тип		LSO 10	LSO 25	LSO 50
kapacita pšenice kukuřice	производительность пшеница кукуруза	t/h т/час	10 2,4	25 6	50 12
vlhkost vstupní výstupní	влажность входная выходная	%	19/30 15/14	19/30 15/14	19/30 15/14
teplota vzduchu pšenice/kukuřice 1. zóna 2. zóna	температура воздуха пшеница/кукуруза 1. зона 2. зона	°C	90/130 120/130	90/130 120/130	90/130 120/130
spotřeba topný olej zemní plyn	расход отопительное масло природный газ	kg/h кг/час m³/h м³/час	57 – 85 32 – 98 φ 65	157 – 185 147 – 215 φ 181	315 – 370 294 – 430 φ 362
příkon	мощность	kW, кВт	63	130	280

(Továrny mlýnských strojů, n.p., Parubice, 1983)

Příloha 13 – Tabulka reálných spotřeb sušiček, zdroj ZZN Polabí, a.s.

Samostatný list vložený do obálky na zadních deskách