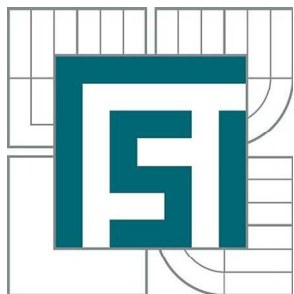


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE POHONU LINKY NA KLÍČENÍ SLADU

DESIGN OF DRIVE FOR MALT GERMINATION LINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR POCHYLÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN OMASTA, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Pochylý

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukce pohonu linky na klíčení sladu

v anglickém jazyce:

Design of drive for malt germination line

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh pohonu podlah linky na klíčení sladu. Práce bude zahrnovat změnu uspořádání pohonů, návrh a výpočet pohonu a konstrukci uložení.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Konceptní řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkres sestavení, digitální data

Typ práce: konstrukční; Účel práce: vzdělávání

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

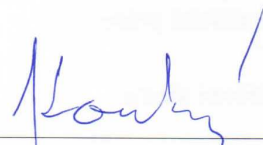
SHIGLEY, J. E., Ch. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Překlad 7. Vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Omasta, Ph.D.

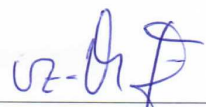
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně dne 21. 11. 2014



v.ř. 

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ASTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí pohonu linky a klíčení sladu. První část se věnuje charakteristice linky a také samotnému sladování. Druhá část této práce popisuje druhy klíčirenských technologií a převodů. Poslední část této práce obsahuje návrh konstrukčního řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sladovna, klíčirna, konstrukce pohonu, klíčirenské skříně

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the construction of power lines and germination malt. The first part deals with the line itself and malting. The second part of this thesis describes the types technology of germination and technology transfers. The last part contains construction solution.

KEYWORDS

Malthouse, germination, construction drive, the cabinet germination

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POCHYLÝ, P. *Konstrukce pohonu linky na klíčení sladu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Omasta, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Milana Omasty, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 29. května 2015

.....

Petr Pochylý

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Omastovi, Ph.D. za odbornou pomoc a udělení rad při řešení problematiky této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

OBSAH	12
ÚVOD	13
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
1.1 Sladování	14
1.1.1 Výrobní etapy	14
1.1.1.1 Máčení	14
1.1.1.2 Klíčení	15
1.1.1.3 Hvozdění	20
1.2 Charakteristika linky	21
1.3 Riziko havarijního stavu	22
1.3.1 Riziko poruchy u stávajícího řešení	22
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	24
3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	27
3.1 Druhy klíčirenských technologií	27
3.1.1 Humnová sladovna	27
3.1.2 Posuvná hromada	28
3.1.3 Saladinová skříň	29
3.1.4 Systém Lausmann	30
3.1.5 Kruhová nebo i věžová sladovna Seeger	32
3.2 Převody	33
3.2.1 Ozubené převody	33
3.2.1.1 Ozubená kola čelní s přímými zuby	33
3.2.1.2 Ozubená kola čelní s šikmými zuby	33
3.2.1.3 Cykloidní převody	33
3.2.1.4 Šroubová soukolí	34
3.2.1.5 Šneková soukolí	34
3.2.1.6 Ozubená kola kuželová s přímými zuby	35
3.2.1.7 Ozubená kola kuželová se zuby šikmými a zakřivenými	35
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	36
4.1 Změna počtu elektro převodovek a jeho vliv na systém zvedání	36
4.1.1 Vliv změny převodovek na jejich ampérové hlídání	37
4.1.2 Vliv zrušení mechanického propojení přes roznášecí hřídele	38
4.1.3 Vliv sjednocení konstrukce a zrušení kuželových soukolí	38
4.2 Detailní popis konstrukčních prvků systému zvedání	39
4.3 Popis konstrukce navrhované převodovky	44
4.3.1 Typ převodu	44
4.3.2 Volba vstupních parametrů	44
4.3.3 Materiál	44
4.3.4 Ložiska	45
4.4 Detailní popis konstrukčních prvků převodovky	46
5 DISKUZE	49
5.1 Diskuze se zadavatelem práce	49
5.2 Diskuze s vedoucím práce	49

6 ZÁVĚR	50
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	51
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	52
9 SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Zadání práce poskytla firma KVM-SK, s.r.o., která je dodavatelem různých technologií potřebných pro výrobu sladu. Výroba sladu je zjednodušeně namočení sladovnického ječmene, jeho následné klíčení a nakonec jeho usušení.

Právě na jednu část technologie klíčení je zaměřeno zadání této práce. Předmětem práce je navrhnout řešení a konstrukční změnu mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní s ohledem na dosažení maximální spolehlivosti a kontroly zdvihu podlah pro eliminaci vzniku havarijních stavů a tím snížení nevýhod stávajícího řešení.

Zadání této práce je upřesněno pouze pro jeden výkonový typ linky o kapacitě 33 tun sladu umístěného v jedné skříní plošných rozměrů 6 x 8m, konkretizované do návrhu a výpočtu poháněcí převodovky trapézových šroubů zdvihu podlah. Stejně tak do návrhu nových způsobů kontroly a hlídání mechanismu zdvihu proti riziku havárie.

V popisu stávajícího stavu řešení dílčí technologie zadavatelem této práce a výčtu všech nevýhod je i souhrn dalších technických parametrů pro výpočet a návrh převodovek zdvihu. Zadavatel preferuje z technologických důvodů vlastní výrobu převodovek konstruovaných přesně „na míru“ pro potřeby technologie před variantou kupování standardních převodovek a následného přizpůsobování zařízení těmto převodovkám. Také chce mít od začátku přehled a jistotu znalostí o všech detailech převodovek od volby typů a modulů ozubení, materiálů soukolí, druhů a typů ložisek, způsobů utěsnění hřídelí apod. Zadavatel na svou technologii poskytuje záruku přesahující 3 roky, což v případě kupovaných převodovek nelze u jejich prodejců zajistit s podmínkou reakce – dodání náhradních dílů nebo celé převodovky do 48hodin.

Zadavatel této práce nevyklučuje jiné typy převodovek. Preferuje však z hlediska jednoduchosti a možností jeho vlastní výroby s dostupnými kooperacemi provedení převodovek vzhledem k jejímu vysokému celkovému převodovému poměru $i = \text{cca } 600$ ve variantě dvojitě šnekové. U materiálové volby šnekových soukolí používá vždy kombinaci ušlechtilé oceli u šneka a cínového bronzu u šnekového kola. U volby ložisek doporučuje volit zdvojená kuličková ložiska, nebo i případě zachycení větších axiálních sil kombinace ložisek s kosoúhlým stykem.

Dodatečné informace ke konstrukčnímu řešení jsou dostupné v seznamu příloh ve formě jednotlivých výkresů sestav a výpočtové zprávy.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Sladování

Cílem sladování je přeměna ječmene na slad bohatý na enzymy a extrakt, což jsou látky nezbytné pro výrobu piva. Vaření rozmačkaného sladu ve varnách s přísadou chmelu a dalších látek je základem pivovarnické technologie. Jinak řečeno se z tvrdé obilky ječmene tvoří křehký a sladký slad. [1]

1.1.1 Výrobní etapy

1.1.1.1 Máčení

Cílem máčení je zvýšení obsahu vody v zrně pro zahájení enzymatických reakcí a pro zahájení klíčení zrn. Máčení se provádí ve speciálních nádobách – náduvnících, kde je ječmen střídavě zaplavován studenou vodou a částečně je bez vody ve stádiu tzv. vzdušné přestávky. Ve stavu pod vodou se provádí provzdušnění vody tlakovým vzduchem, ve stádiu vzdušné přestávky se provádí cyklicky odsávání CO₂. Zpravidla trvá máčení dva až tři dny, během nichž se ječmen přemísť z horních náduvnic do spodních. První voda pomáhá ječmen čistit, nečistoty se odvádějí z hladiny vody tzv. splavkováním. Poslední – třetí voda pomáhá ječmen transportovat na klíčírnu. [1]



Obr. 1.2 Pohled na horní část náduvniku, sladovna Mšeno



Obr. 1.3 Pohled na spodní část náduvníku, sladovna Mšeno

1.1.1.2 Klíčení

1.1.1.2

Klíčení je druhá technologická etapa výroby sladu.



Obr. 1.4 Pohled na vymáčku ječmene na první klíčící skříň, sladovna Mšeno



Obr. 1.5 Pohled na první klíčící skříň před srovnáním ječmene, sladovna Mšeno



Obr. 1.6 Pohled na první klíčící skříň po srovnání ječmene, sladovna Mšeno



Obr. 1.7 Pohled na klíčící linku, sladovna Mšeno



Obr. 1.8 Pohled na prostor trapézových šroubů, sladovna Mšeno



Obr. 1.9 Pohled na celou klíčící linku, sladovna Brodek u Přerova

Cílem sladařského klíčení je aktivace a syntéza enzymů a docílení požadovaného rozluštění (vnitřní přeměny) zrn namočeného ječmene.

V zrně se nejdříve objeví zárodek a později roste klíček. Při tom se snižuje obsah škrobu a zvyšuje obsah cukru. Klíček proráží semenný obal a prorůstá zrnem ke špičce obilky.

Během 5-6 denního klíčení se rozlišují následující etapy klíčení

- Mokrý hromada (ječmen vymočený z máčírny)
- Ochlá hromada (objevují se v zrnech sladu první zárodečné kořínky)
- Pukavka (pokračuje růst kořínků, slad intenzivně dýchá a zahřívá se)
- Mladík (zrno intenzivně dýchá a probíhají v něm enzymatické přeměny, toto je nejdůležitější etapa při klíčení sladu)
- Vyrovnaná hromada (délka kořínků se vyrovnává, dýchání zrn zpomaluje)
- Stará hromada (intenzita dýchání nadále klesá a projevuje se i postupné zavádání kořínků, fáze klíčení se ukončuje)

Během klíčení je nutné slad provětrávat a chladit na optimální teplotu v rozsahu 14 až 18°C. Při provětrávání je nezbytné, aby vzduch byl co nejvíce nasycen vodou. Proto prochází vzduch do klíčirenských skříní přes zvlhčovací komory, kde dochází k nárůstu relativní vlhkosti do potřebné hodnoty $RV = 95$ až 100%. [1]

Obsah kyslíku v přivádějícím vzduchu je velmi důležitý a je třeba jej regulovat. Příliš mnoho kyslíku způsobuje příliš vysoké dýchání a tím nepotřebné vysoké rozluštění sladu (nárůst kořínků). Proto vzduchotechnika skříní počítá i s určitým využitím vzduchu prošlého sladem. Tento vzduch naopak obsahuje velké množství CO_2 , který vzniká reakcí kyslíku se zrny sladu při klíčení. Poměr O_2 a CO_2 bývá zpravidla pečlivě hlídán a řízen pomocí ASŘ. Protože naopak i nedostatečné množství kyslíku je technologicky problematické, slad potom přestává klíčit. [1]



Obr. 1.10 Pohled na PC vizualizace ASŘ, sladovna Brodek u Přerova



Obr. 1.11 Pohled na velín, sladovna Brodek u Přerova

1.3.1.3 Hvozdění

Hvozdění je sušení naklíčeného zeleného sladu. Zpravidla probíhá během 18 - 22 hodin. Sušení se provádí s vyšším prouděním vzduchu, kdy se nejdříve po dobu 10 - 12 hodin při teplotě 55 – 60 °C v první etapě sušení, tzv. valečkování odvádí vlhkost z naklíčeného sladu až na vlhkost cca 45 - 65% RV, pak v druhé etapě pokračuje vzduchotechnické proudění s dalším odváděním vlhkosti a se současným vzrůstem teploty až k 80 °C, následuje poslední etapa sušení, tzv. dotahování, kdy již s menším vzduchotechnickým výkonem se slad suší při teplotě 80 až 85 °C a jeho vlhkost klesá k 5% RV. [1]



Obr. 1.12 Pohled umístění sladu před sušením, sladovna Brodek u Přerova

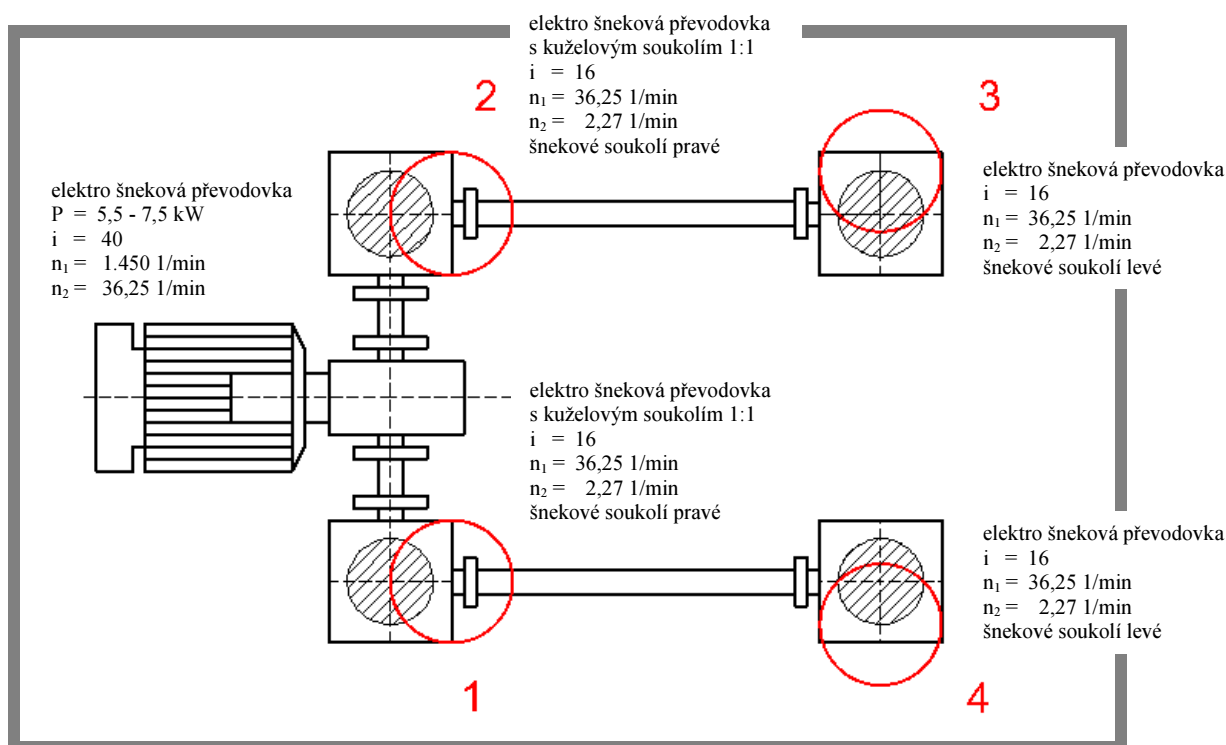


Obr. 1.13 Pohled na budovu sušení, sladovna Brodek u Přerova

1.2 Charakteristika linky

Linka na klíčení sladu je kusové přísně jednoúčelové zařízení, kdy se vyrábí maximálně jedna technologická linka výroby sladu ročně. Tím, že tato linka obsahuje v rámci technologické části výroby sladu 6 ks klíčících skříní, se dá hovořit o malé sérii 6 ks podlah a celkem $6 \times 4 = 24$ ks sestav zdvihových šroubů, jejíž optimalizaci pohonu je tato práce věnována. Zdvih cca 1,8m podlahy každé skříně je realizován u linky kapacity 33tun v jedné skříní sestavou čtyř trapézových šroubů TR 90 x 12mm. Zdvih je z technologického hlediska velmi pomalý, měl by být v rozsahu trvání 60 až 70 minut.

Zatížení a dimenze trapézových šroubů není předmětem této práce, jelikož ve stávajícím stavu nevykazují žádné problémy. Taktéž souhrnný výkon převodovky nebo sestavy převodovek odpovídající stávajícímu stavu je zadavatelem konkretizován v rozsahu příkonu 5,5 až 8,8 kW. Vyšší hodnota je doporučena spíše pro výkonovou rezervu, než pro vlastní překonávání odporů v pohybu mechanismu. Z doby celkového zdvihu podlahy 60 až 70 minut vyplývá požadavek výstupních otáček trapézových šroubů v rozsahu 2,15 až 2,5 1/min.



Obr. 1.1 Schéma stávajícího stavu

Elektropřevodovka 5,5 nebo 7,5 kW přenáší svůj krouticí moment na převodovky č. 1 a 2, což jsou šnekové jednostupňové převodovky s kuželovým soukolím. Šnekové soukolí přenáší pohyb na otáčení trapézových šroubů pod těmito převodovkami, kuželové soukolí přenáší část krouticího momentu na převodovky 3 a 4. Při tom ale kuželové soukolí mění nejen osu otáčení o 90° , ale mění tím i smysl otáčení z pravého na levý. Proto musí být u převodovek č. 3 a 4 jiné provedení

šnekového soukolí - levé proto, aby všechny (stejně) trapézové šrouby se při zdvihu otáčely ve stejném směru.

Všechny převodovky jsou tak odlišné. Liší se nejen smyslem otáčení šnekového soukolí, ale i konstrukčním uspořádáním hřídelí šneku. V součtu uvedeného je to pak velmi náročné nejen na výrobu, ale i na náhradní díly apod.

1.3 Riziko havarijního stavu

Uvedené riziko havarijních stavů je velmi důležité. V každé skříni je dle typu linky 25 - 100 tun namočeného ječmene. Při klíčení se tomuto ječmeni již říká tzv. „zelený slad“. Právě při tvorbě klíčků jednotlivá zrnka zeleného sladu do sebe zarůstají a je třeba je minimálně 1x za 24 hodin rozrušit, což se na klíčárně zadavatele děje jedenkrát denně převrstvením sladu z jedné skříně do druhé. Viz grafické technologické schéma v příloze této práce.

Pokud by se toto převrstvení neprovedlo, tak slad do sebe zejména při třetím a čtvrtém dni klíčení tak zarůstá, že po 48 hodinách již tvoří velmi homogenní pevnou hmotu a po 72 hodinách již rozrušit nejde bez destruktivního poškození zrn.

Pak se celá dávka sladu musí ručně krompáčem vysekat a vyhodit. Výroba sladu je kontinuální. Výpadek i jen na jedné klíčící skříni delší než 24 hodin může vést k ohrožení celé rozpracované technologie na předchozích skříních i na máčárně.

Dochází tedy k ohrožení nezpracování až 5x (25 až 100 tun) na klíčárně a 2x (25 až 100tun) na máčárně. U výkonového typu linky v této práci $7 \times 33 = 231$ tun sladu. Cena jedné tuny sladu je cca 9. 500 Kč a případná havárie delší jak 24 hodin představuje riziko ztráty přes 2 milióny Kč.

Pro dodavatele technologie může být toto riziko v době záruky velmi frustrující. A proto se této problematice věnuje velká pozornost a bylo učiněno i zadání této práce. Každé snížení rizika havárie bude zadavatelem práce velmi pozitivně vnímáno.

1.3.1 Riziko poruchy u stávajícího řešení

Hlavní problém je, že stávající ampérové hlídání motoru elektrické převodovky včetně integrace analogových hodnot do ASŘ – automatizovaného systému řízení celé klíčící linky:

- a) v případě problému na některém šroubu nebo na některé převodovce šroubu, vůbec nerozliší, kterého šroubu nebo převodovky se zvýšení zatížení týká, případně se ani nerozliší, zda je důvodem zvýšení zatížení pohonu problém ve zdvihovém mechanismu, nebo problém například drhnutí celé podlahy v betonové skříni.
- b) na měření zatížení centrální elektro převodovky se z praktického několikaletého sledování příliš nepozná, že jeden šroub může být již v krizovém stavu a to těsně před havárií, měření ampérové zátěže je teoreticky 4x méně přesné ve srovnání s novým řešením.

- c) to vše vede často především na nočních směnách, kdy je celé linka obsluhována jen jednou osobou k rizikovému stavu, že sám jeden pracovník nedokáže diagnostikovat varovné upozornění z ASŘ a z podcenění nastalé situace vzrůstá enormně riziko havárie.

V praxi se situace zpravidla řeší až na následující ranní směně za přítomnosti mechanika, ale je zde riziko tzv. lidského faktoru, tedy správného vyhodnocení mírného zvýšení ukazatele zátěže a zjištění příčiny. Často se varovná hlášení v praxi bagatelizují a řeší se až následné havarijní stavy.

Klíčící linka běží zpravidla 10 měsíců bez přestávky, takže se kontrola mechanického stavu zařízení odkládá až na dva měsíce odstávky, protože jakékoliv údržbářské práce i případné opravy za běhu linky jsou pro pracovníky v prostředí 100% vlhkosti velmi nepříjemné.

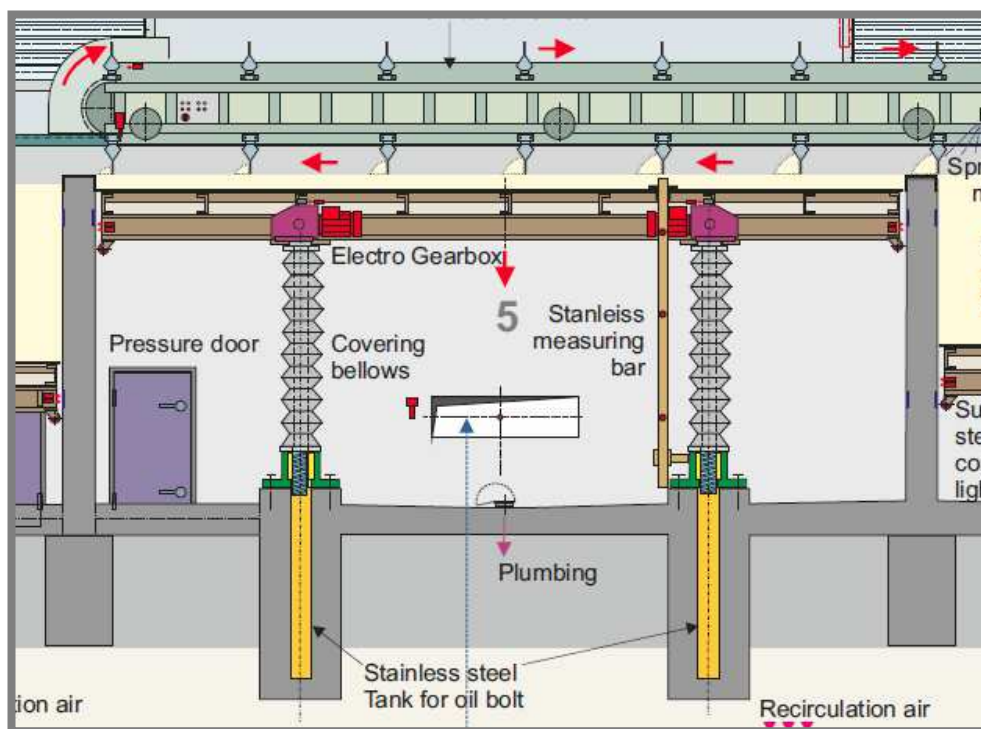
Dalším problémem u stávajícího řešení jsou točivé části, které jsou umístěny v náročném prostředí o trvalé vlhkosti a přebytku CO₂. Včetně dalších dílů (příruby propojovacích hřídelí, vstupní otvory v převodovkách), jsou všechny tyto části náchylné k poruchám. Kolem těsnících kroužků - gufer stávajících převodovek výstupních hřídelí kuželových soukolí proniká voda do převodovek a mění převodový olej v emulzi – směs oleje s vodou, což také zvyšuje rizika havárie.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

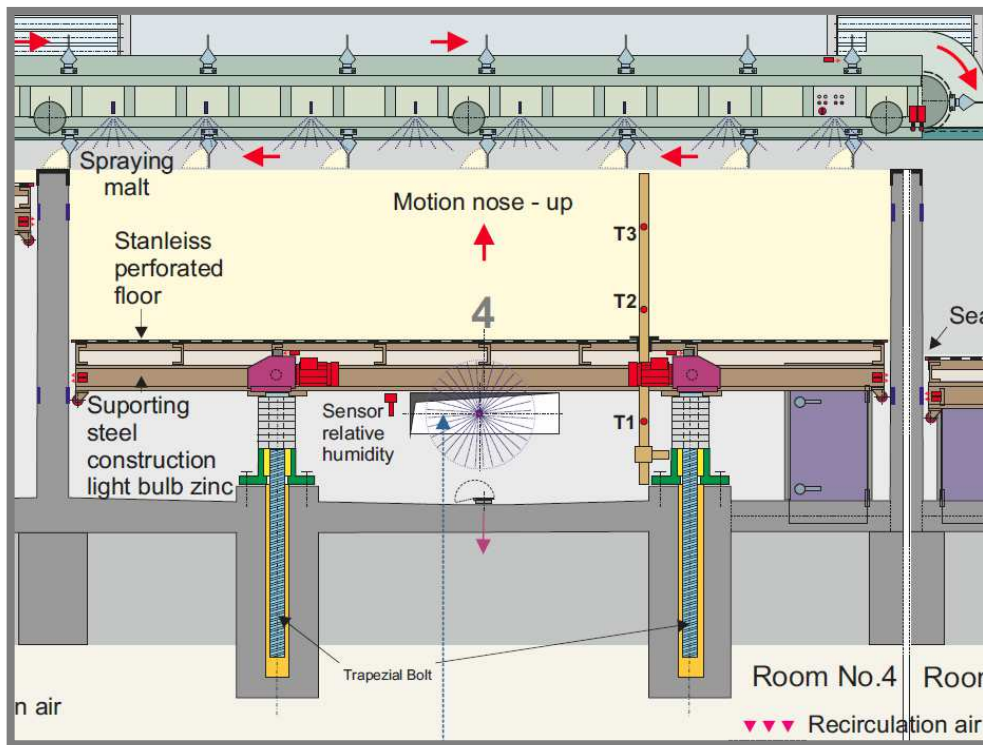
Analýzou problému je posouzení mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní s ohledem na dosažení lepší spolehlivosti a kontroly celého systému pro eliminaci vzniku havarijních stavů. Hlavním problémem je stávající řešení pohonu mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní a dále zajištění plynulého, ale hlavně bezpečného chodu celé linky.

Cílem bakalářské práce je **konstrukční návrh pohonu podlah linky na klíčění sladu**. Práce zahrnuje změnu uspořádání pohonů, návrh a výpočet pohonu a poté konstrukci celého mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní. Nad rámec zadání ale také obsahuje nastínění problematiky ampérového hlídání pro zajištění synchronního chodu mechanismu zdvihu podlah.

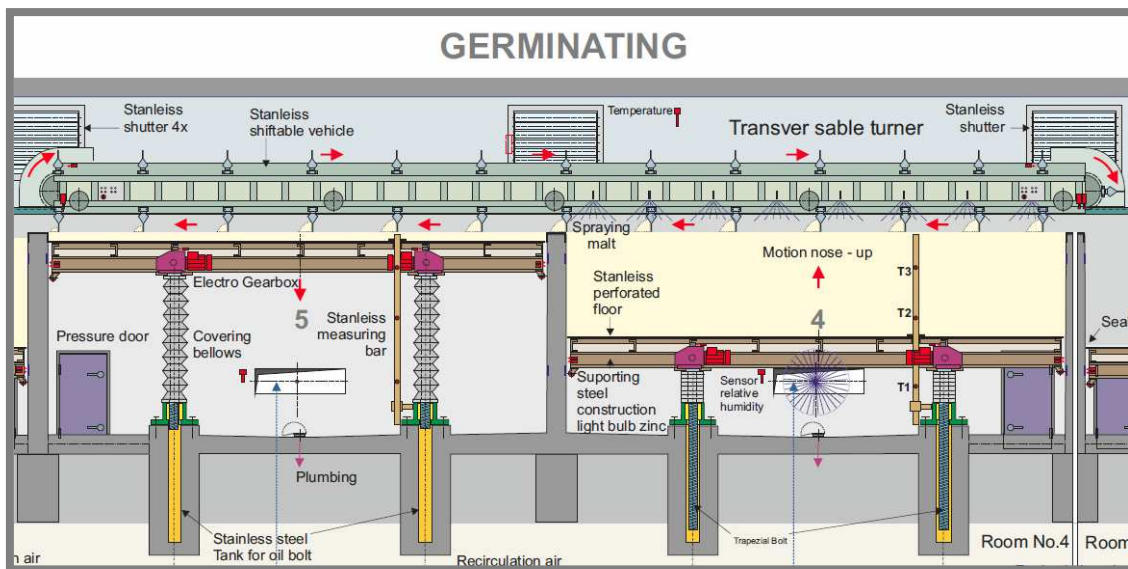
Na následujících obrázcích jsou schematicky zobrazeny konstrukce pohonu podlah na klíčění sladu a technologický proces výroby sladu. Tyto obrázky jsou výtažky z technologického procesu výroby sladu (máčení, klíčění, hvozdění). Celé schéma technologického procesu výroby, vytvořené firmou KVM-SK, s.r.o., je umístěno jako příloha této bakalářské práce.



Obr. 2.1 Schematické zobrazení konstrukčního řešení I (pokles podlahy)



Obr. 2.2 Schématické zobrazení konstrukčního řešení 2 (zdvih podlahy)



Obr. 2.3 Schématické zobrazení procesu klíčení (první podlah – pokles, druhá podlah – zdvih)

Předmětem práce je tedy konstrukční změna uspořádání pohonů tak, aby se zajistila spolehlivost za účelem snížení rizika havárie. Práce bude zahrnovat změnu uspořádání pohonů a zabezpečení synchronizace pohonů.

Co se týče ampérového hlídání jedné centrální elektro převodovky u stávajícího způsobu včetně popisu nevýhod v úvodu této zprávy, je konkrétním cílem práce dosáhnout nějakým způsobem možnosti měření a vyhodnocení zatěžujících parametrů na každém z čtveřice trapézových šroubů zvlášť. Pak to totiž nasměruje obsluhu nebo údržbu uživatele linky při zvýšení měření hodnot přesněji k nalezení a vyřešení problému. Hodnoty zatížení se totiž archivují a zobrazují i v příslušných grafech vizualizace a lze se k rizikové situaci nebo zobrazení vývoje zatížení kdykoli vrátit. Na grafech se totiž kromě zatížení zobrazuje i čas a aktuální výška zdvihu každé podlahy.

Co se týče konstrukčního provedení převodovek, je dalším konkrétním cílem (bude-li to možné) dosažení stejné jejich konstrukce nad všemi čtyřmi šrouby. Zjednoduší se tak výroba i montáž a nutnost držení menšího počtu náhradních dílů proti stávajícímu stavu, kdy jsou všechny čtyři převodovky rozdílné včetně odlišnosti páté elektro převodovky a včetně nutnosti náhradních roznášecích hřídelí mezi převodovkami.

Co se týče vzájemného propojení převodovek, je cílem práce pokusit se zrušit toto propojení, které je pro velkou náchylnost k poruchám velmi rizikové. A navíc házením propojovacích hřídelí velmi rychle ničí těsnící gufera na výstupech převodovek, což vede při mytí takovou vodou k pronikání vody dovnitř převodovek.

Program ASŘ není v zadání práce, přesto zadavatel práce požaduje alespoň obecný popis hlídání pohybu všech šroubů zvlášť v případě řešení, kdy budou zrušeny propojovací hřídele, čímž se zároveň zruší i mechanická svázanost a je třeba řešit hlídání výšky na všech šroubech a automatické nebo poloautomatické dorovnávání výšky při překročení povolených limitů rozdílnosti výšek.

3 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

3

3.1 Druhy klíčirenských technologií

3.1

Klíčení sladu se provádí na mnoha různých technologiích, z nichž zadavatel vyrábí a montuje modernizovaný typ Lausmann. Přehled jednotlivých technologií je následovný:

3.1.1 Humnová sladovna

3.1.1

Humnová sladovna má většinou několik pater, přičemž jsou všechny nebo jen část umístěny pod úroveň terénu. Prostory humen mají stropní nosná klenutí, která jsou podpírána nosnými sloupy. Podlahy bývají z hlazeného betonu nebo z dlaždic. [1]

Stěny budovy humen jsou velmi tlusté a celá budova má velkou tepelnou setrvačnost. I přes používání mechanizace stále u tohoto typu klíčení převažuje namáhavá ruční práce. Je to jeden z nestarších způsobů klíčení, nyní již sporadicky používaný. Velkou nevýhodou je obrovský obestavený prostor budovy, značný podíl ruční práce a nízký výkon. Velmi problematické je dodržení technologie a potřebných teplot v teplém období. [1]

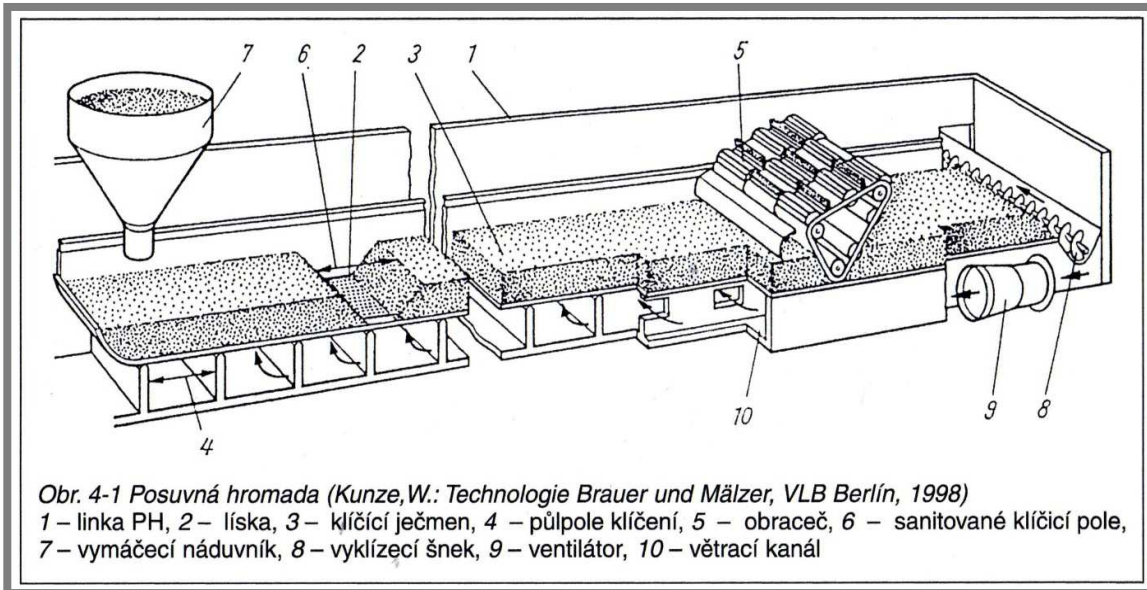
V dnešní době se tento způsob sladování nestaví, dožívá jen ve starých sladovnách.



Obr. 3.1 Pohled původní humnové klíčení, sladovna Mšeno

3.1.2 Posuvná hromada

Je první pneumatická sladovna, kde je slad umístěn ve skříni s děrovaným pevným dnem, kudy se do sladu přivádí klimatizovaný vzduch. Pomocí speciálního stroje – obraceče se slad 2x za 24 hodin přemístí a tím i posouvá po délce skříně. Celý cyklus sladování se tak děje v jedné skříni a ječmen po vymočení na jeden kraj skříně se posouváním postupně dostane během 5 až 6 dnů klíčení až na kraj druhý, kde pak dochází k výsypu sladu do dopravníků k následující technologické části – sušení sladu. Princip linky vyplývá z následujícího schématického obrázku: [1]



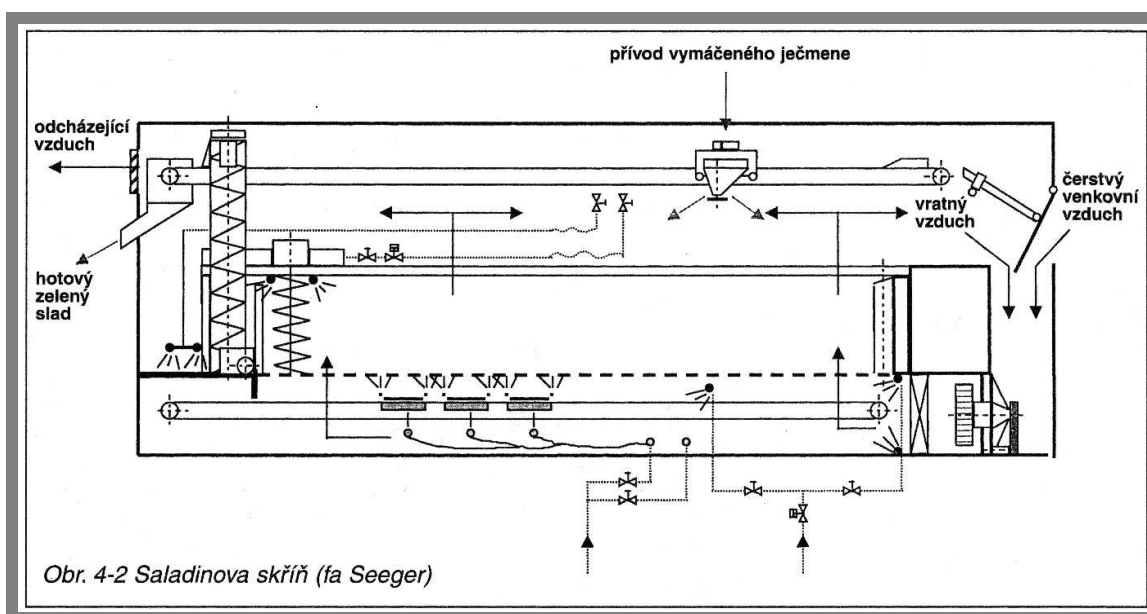
Obr. 3.2 Schéma posuvná hromada



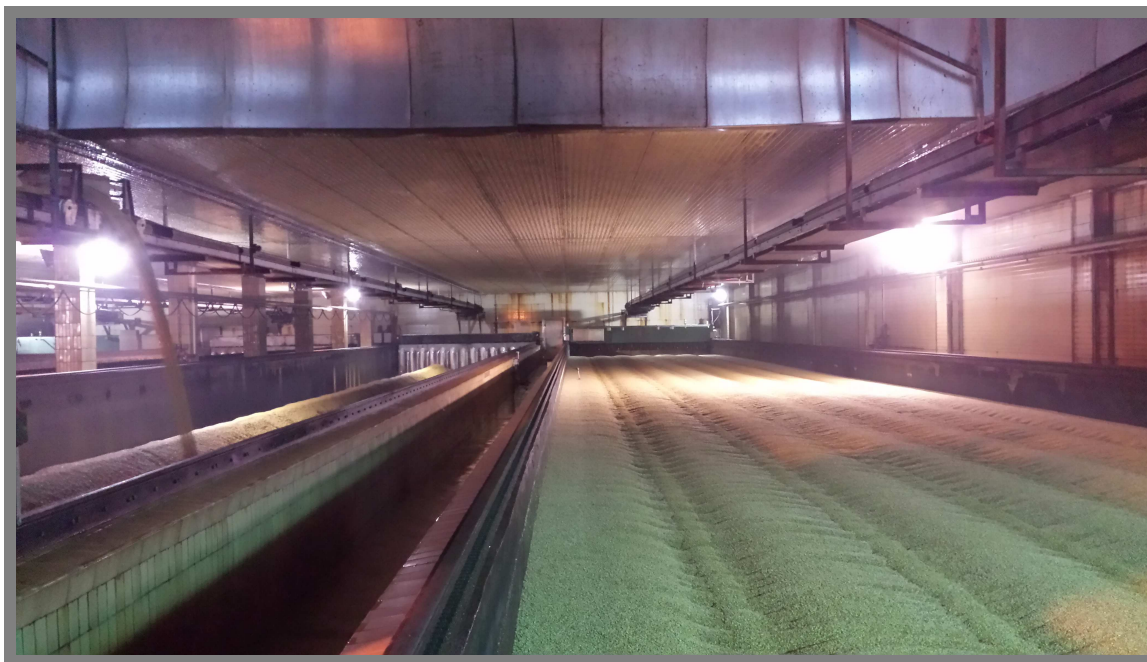
Obr. 3.3 Linka posuvné hromady Sladovna Radegast

3.1.3 Saladinova skříň

Je další pneumatická sladovna, kde je slad opět umístěn ve skříni s děrovaným pevným dnem, kudy se do sladu také přivádí klimatizovaný vzduch. Pomocí prvního speciálního stroje – obraceče se slad 1x za 24 hodin rozrušuje, nikoliv však přemísťuje. Jen se slad ze spodní části hromady vysoké až 1,5m dostává do horních vrstev. Slad je během klíčení v délce 5 až 6 dnů ve skříni stále na svém místě. Druhý vyklízeční stroj pak přemístí celý obsah klíčící skříně do dopravníků k následující technologické části – sušení sladu. Princip linky vyplývá z následujícího schématického obrázku: [1]



Obr. 3.4 Schéma Saladinovy skříně



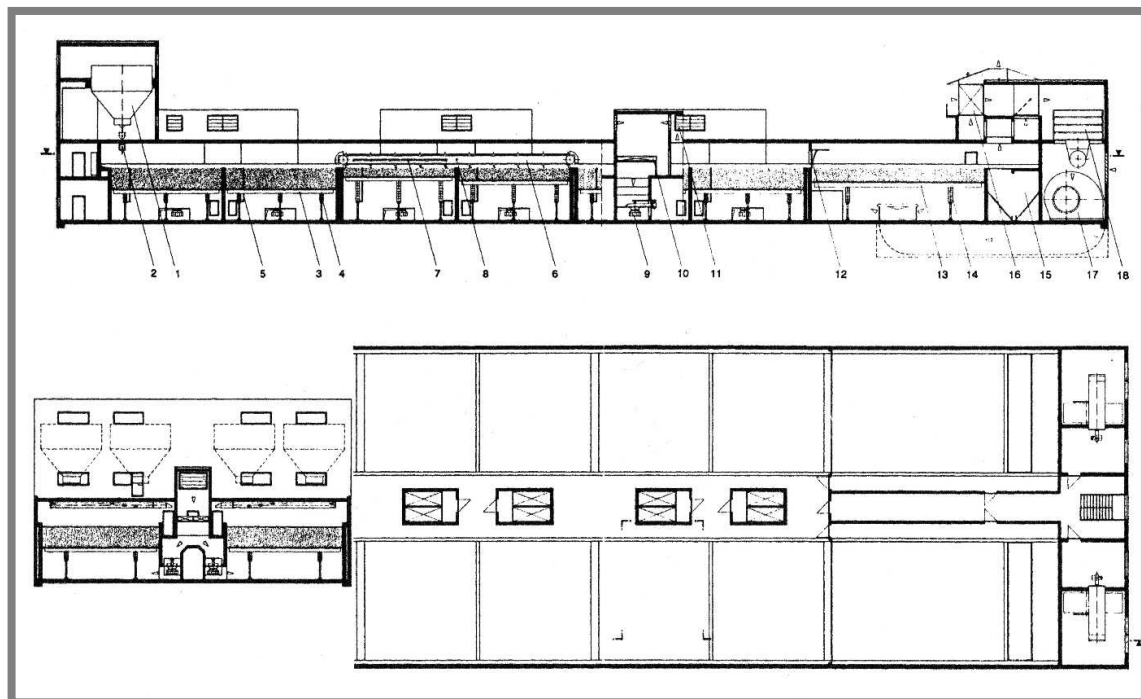
Obr. 3.5 Linka Saladinovy skříně sladovna Prazdroj

3.1.4 Systém Lausmann

Systém Lausmann je obdobou od firmy KVM-SK. Jedná se o další pneumatickou sladovnu, kde je slad opět umístěn v několika samostatných skříních zhruba odpovídajícím dnům klíčení. [1]

Skříně mají pohyblivé podlahy s děrovanou plochou, kudy se do sladu také přivádí klimatizovaný vzduch. Nad skříněmi přejíždí speciální stroj zvaný převrstvovač, který zpravidla 1x za 24 hodin rozrušuje a zároveň přemísťuje slad z jedné skříně do druhé. [1]

Princip linky vyplývá z následujícího schématického obrázku:



Obr. 3.6 Schéma klíčirny systému Lausmann

Legenda k obrázku:

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1 - náduvník máčení | 10 - chladič vzduchu |
| 2 - vymáčecí zařízení | 11 - vzduchové klapky |
| 3 - podlaha líčící skříně | 12 - oddělovací dveře |
| 3 - zvedací zařízení podlahy | 13 - hvozď (sušení sladu) |
| 4 - měření teploty | 14 - zvedací zařízení |
| 6 - přemísťovač sladu | 15 - zásobník sladu |
| 7 - mycí zařízení | 16 - skleněný rekuperátor |
| 8 - kropicí zařízení | 17 - ventilátor sušení |
| 9 - ventilátor klíčení | 18 - ohříváč vzduchu |

Celý proces probíhá postupně. Poslední den klíčení, se slad přemístí ze skříně č. 6 do výsypky dopravníku k hvozdům (k sušení sladu). Následně se převrstvovací lopatkový stroj přemístí nad skříně č. 5 a 6 a provede se přemístění sladu ze skříně č. 5 do prázdné skříně č. 6. Podlaha skříně se sladem jede pomalu nahoru (proces trvá cca 60minut), pohybující se lopatky převrstvovacího stroje ukrajují jednotlivé vrstvy sladu a urovnávají ji v následné skříně. Tak se postupně přemístí slad ze všech skříní do skříní následných a nakonec stroj urovná vymočený ječmen z máčírny na první klíčící skříně. Systém Lausmann, nebo dnes modernizovaný systém KVM-SK patří mezi nejdokonalejší systémy klíčení sladu. Hlavní výhodou je rozdělení každého dne klíčení do samostatných skříní, kde lze přizpůsobit technologii. To znamená množství vzduchu, výkon ventilátoru, poměr O_2 a CO_2 , vlhkost a teplotu v dopravovaném vzduchu pod podlahu se sladem. Dále také provádět každý den sanitaci skříně, čímž se eliminuje vznik a růst velmi škodlivých plísní a jejich průnik do tvořícího se sladu. Velká výhoda je v ekonomické efektivnosti, která se dosahuje nejvyšší mírou využití plochy klíčírny, kdy se ve skříních dosahuje 1, 7 až 1, 9 m výšky vrstvy sladu. Tento typ sladovny má vysokou homogenitu a minimální poškození zrna. Je vybaven moderními systémy ASŘ, řízením nejen technologického procesu, ale i hlídáním zařízení proti havárii a vysokým stupněm automatizace. [1]



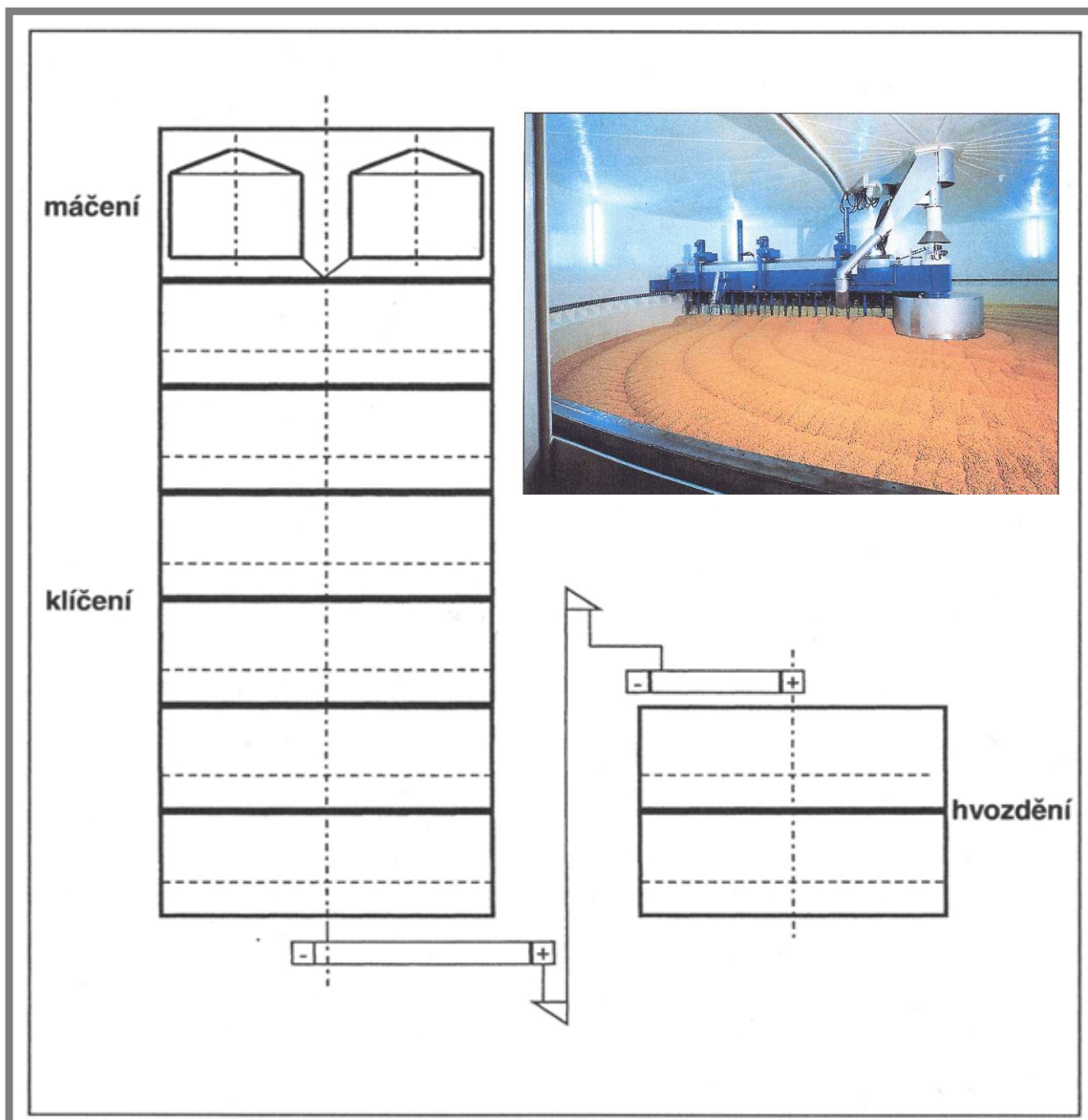
Obr. 3.7 Linka KVM klíčírny sladovna Brodek u Přerova

3.1.5 Kruhová nebo i věžová sladovna Seeger

Sladovna Seeger je další pneumtická sladovna, kde je slad opět umístěn tentokrát v kruhových skříních s děrovaným pevným dnem, kudy se do sladu také přivádí klimatizovaný vzduch. Klíčící skříně jsou umístěny nad sebou. Součástí skříně na každém patře je univerzální pojízdný stroj, který zabezpečuje všechny potřebné dopravy a přemístění sladu během výroby. [1]

Velkou nevýhodou této sladovny je nutnost čerpat vodu pro máčírnu v nejvyšších patrech, obdobně to je s dopravou ječmene. Navíc jsou zde neskutečně vysoké náklady na stavební budovu sladovny. [1]

Princip sladovny vyplývá z následujícího obrázku a následného schématu:



Obr. 3.8 Schéma věžové sladovny

3.2 Převody

3.2

Převodový mechanismus slouží k přenášení, či k rozdělování energie z hnacího stroje na pracovní stroj. Vytváří se tak určitá spojovací vazba mezi jednotlivými částmi strojního mechanismu. Ve strojírenství využívá převody převážná většina strojních zařízení. [2]

Funkce převodů je u všech typů stejná, tedy převádět krouticí moment od vstupního zdroje otáčivé energie, nejčastěji elektromotoru. Přitom může být realizována změna, případně i smysl otáčení, viz obecný následující popis. [2]

3.2.1 Ozubené převody

3.2.1

Pod označením ozubené převody si můžeme představit mechanismus, který nám umožňuje přenášet otáčivý pohyb a mechanickou energii z jednoho hřídele na druhý. Tento typ převodů se dá využívat tam, kde je stálý anebo stupňovitě měnitelný převodový poměr. Popřípadě se dá použít i tam, kde jsou malé vzdálenosti os. Převod realizovaný pomocí ozubených kol může být jednoduchý anebo složený. Jednoduchý převod se skládá z jednoho páru kol. Většinou z malého a velkého kola. Ozubené kolo s malým průměrem je označováno pastorkem a ozubené kolo s velkým průměrem kolem. Složený převod se skládá z většího množství párů kol, kde dvě spolu zabírající kola jsou označovány jako jednoduché soukolí. Pokud je v záběru větší množství kol, tak je převod nazýván jako soukolí složené. [2]

3.2.1.1 Ozubená kola čelní s příkými zuby

3.2.1.1

Roztečný válec je základní vztažnou plochou čelního ozubeného kola. U nekoordinovaných kol je shodný s válcem valivým. Vzájemný pohyb dvou ozubených kol je možné nahradit bezskluzovým valením valivých válců po sobě. Toto čelní ozubení je omezeno hlavovým a patním válcem. Část zubu, která se nachází mezi roztečným a hlavovým válcem je označována jako hlava zubu a část mezi roztečným a patním válcem jako pata zubu. [2]

3.2.1.2 Ozubená kola čelní s šikkými zuby

3.2.1.2

Šikmé zuby ozubených čelních kol jsou ve své podstatě jako šroubové závity s evolventními profily. Název tohoto typu ozubených kol je odvozený od ozubeného hřebene. Zde se jedná o šikmé zuby s přímkovou boční křivkou odkloněnou od zubů příkých o úhel sklonu zubu Beta. [2]

3.2.1.3 Cykloidní převody

3.2.1.3

Cykloidní (trochoidní) převody jsou zvláštním typem převodů planetových. Tento typ převodu řeší hlavní nevýhodu nevyváženosti systému tím, že mají dva hnací kotouče navzájem přesazené o 180 stupňů. K záběru tedy dochází ve dvou protilehlých místech, stejně tak jako u převodu dvoj vlnového. Při použití toho speciálního cykloidního ozubení se řeší poměrně velký problém s energetickými ztrátami. [2]

3.2.1.4 Šroubová soukolí

Šroubové soukolí je mechanický převod otáčení, přičemž jediná dvojice kol vytváří kinematickou a silovou vazbu mezi mimoběžnými hřídeli. Převody mezi mimoběžnými osami mohou být realizované pomocí kombinací soukolí kuželových a případně i soukolí čelních. Tyto typy převodů jsou konstrukčně složitější a nákladnější. Šroubová soukolí mají naproti tomu nižší účinnost a nepříznivé záběrové poměry. Proto jsou vhodná pouze pro přenos malých výkonů. Název šroubového soukolí odpovídá relativnímu pohybu při záběru kol, to znamená šroubovému pohybu okolo okamžité šroubové osy. [2]

Typem šroubového soukolí jsou šroubová soukolí válcová. Přičemž u tohoto typu soukolí jde především o vytvoření kinematické vazby mezi mimoběžnými hřídeli v místě nejkratší příčky. [2]

3.2.1.5 Šneková soukolí

U tohoto typu soukolí jde především o vytvoření kinematické a silové vazby mezi dvěma mimoběžnými hřídeli v místě jejich nejkratší příčky. Úhel os bývá zpravidla 90 stupňů. Šnekové soukolí je v podstatě válcové šroubové soukolí, u kterého počet zubů hnacího kola poklesl na $z_1 = 1; 2; 3$; výjimečně více. Tento hnací šroub je označován jako šnek a spolu zabírající kolo jako šnekové kolo. [2]

Typem šnekového soukolí je šnekové soukolí s válcovým šnekem. Tento typ soukolí je v praxi používaný nejčastěji. Výhodného teoretického čárového styku mezi zuby se dosáhne tím, že ozubení šnekového kola se vyrobí odvalovacím způsobem šroubovou frézku. Tato frézka je tvarovou kopií šneku. Ozubení šnekového soukolí potom vychází z ozubení šneku, které je geometricky určeno především boční plochou zubu. [2]

Převodovka se šnekovým soukolím a válcovým šnekem se jeví jako nejvhodnější variantou pro pohon podlahy na klíčení sladu, protože je schopná svými vlastnostmi nejlépe vyhovět požadovanému řešení. Musí být schopná realizovat velkou redukci otáček z 1450 na 2 až 2,5 otáček za minutu, přičemž musí mít malé, půdorysné rozměry z důvodu omezeného prostoru v uložení. Celkový převodový poměr systému je dle zadání 580 až 725. Z velikosti tohoto poměru vyplývá, že bude nutné v konstrukčním návrhu převodovky využít minimálně dva převodové stupně.

Ve výsledku se dle cenového a konstrukčního hlediska a montážní kompaktnosti tohoto převodu šnekovými soukolími její jako optimální pro řešení zadání této práce a nedá se nahradit jiným řešením.

3.2.1.6 Ozubená kola kuželová s přímými zuby

3.2.1.6

Tento typ soukolí umožňuje přenos krouticího momentu u různoběžných hřídelů, přičemž úhel os bývá nejčastěji 90 stupňů. Tato kola byla dříve pro výrobní potíže používána pouze výjimečně a to zpravidla s odlitými nebo vsazenými zuby. V dnešní době jejich použití vzrůstá. [2]

Kuželové soukolí s převodem 1:1 jsou na převodovkách stávajícího provedení použita právě za účelem změny osy otáčení právě o 90°. Neslouží tedy přímo k převodu otáček elektromotoru na požadované snížené otáčky zdvihových trapézových šroubů. [2]

3.2.1.7 Ozubená kola kuželová se zuby šikmými a zakřivenými

3.2.1.7

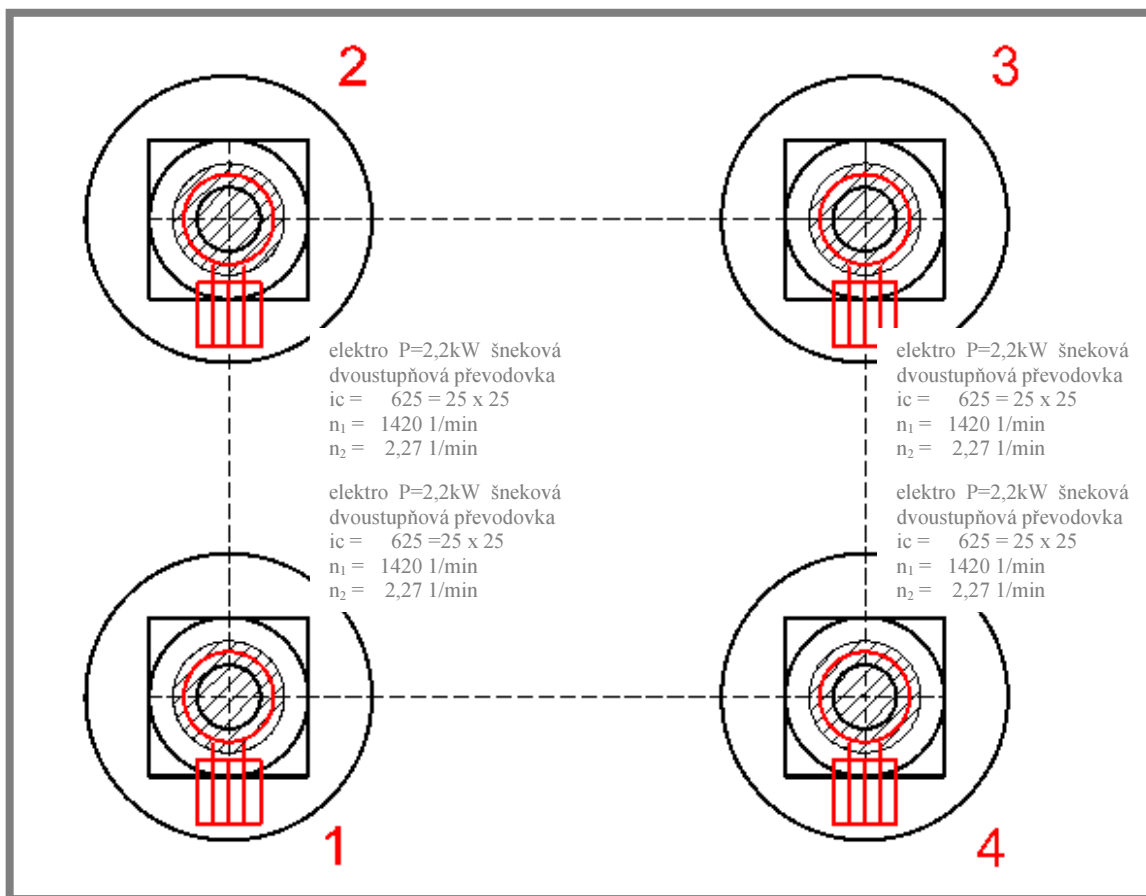
Vytváření průběhu zubů čelního ozubení na roztečných válcích si lze představit tak, že roztečné válce bezskluzově zabírají s roztečnou rovinou a jakékoliv na ní vyznačené čáry se na nich otisknou. [2]

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Konstrukční řešení dle zadání práce a dle již dříve specifikovaných cílů této práce spočívá v zásadní změně uspořádání poháněcích převodovek.

4.1 Změna počtu elektro převodovek a jeho vliv na systém zvedání

Místo stávající jedné elektro převodovky v sestavě čtyř šroubů zdvihu jedné podlahy klíčirenské skříně navrhuji, aby se v novém konstrukčním řešení již šnekové převodovky nad každým trapézovým šroubem nepropojovaly na jednu centrální elektro převodovku (viz schéma na obr. 1 této práce) soustavou roznášecích hřídelí. Naopak, aby každá tato převodovka měla svůj elektromotor a zároveň vzhledem k velkému celkovému převodu i dvoustupňové šnekové provedení. Schematicky je nové řešení zobrazeno na následujícím obrázku:



Obr. 4.1 Schéma konstrukčního provedení nového řešení

Jak ze schématu vyplývá, jsou všechny převodovky nad trapézovými šrouby úplně stejné. Ruší se jakékoliv jejich vzájemné propojení. Každá převodovka má svůj elektromotor shodný u všech převodovek. Ruší se všechna stávající kuželová soukolí, vše se otáčí ve stejném smyslu, ruší se výstupy roznášecích hřídelí a tím se zcela eliminuje pronikání vody dovnitř převodovek. Především bude umožněno hlídání každého šroubu samostatně.

4.1.1 Vliv změny převodovek na jejich ampérové hlídání

Tím, že každá převodovka bude mít svůj elektromotor, přináší novému systému zcela zásadní zlepšení možnosti „ampérového hlídání“ každého motoru sestavy 4 zdvihových šroubů zvláště. Získá se tak nejen několikanásobně zvětšená reálnost měřené veličiny ampérového zatížení každého motoru zvláště, ale také jednoznačné a okamžité určení šroubu, na které hlídání upozorní, tedy místa s rizikem mechanického problému.

Obsluha, nebo údržba pak při řešení problémů nebude „tápat“ a ztrácet čas hledáním zdroje poruchy, ale může jít téměř „najisto“. Spolehlivost technologie se tak řádově navyšuje, riziko havárie naopak velmi klesá.

Ve stávajícím stavu je v systému začleněno pro 6 skříní celkem 6x měření ampérového zatížení zdvihu skříní. S novým konstrukčním řešením navrhuji, aby bylo instalováno ne $6 \times 4 = 24$ ks snímačů, ale pouze 8 snímačů ampérového zatížení (tedy jen o 2 ks více) a v praxi se kontrolovaly vždy pouze ty skříně, které jsou opravdu v pohybu. V praxi se totiž vždy pohybují jen dvě podlahy v sousedních skříních, tedy ty podlahy, nad kterými pracuje převrstvovací vůz, jenž přemísťuje slad z jedné skříně do druhé. Pohyb podlah ostatních skříní bez tohoto vozu nemá žádný technologický smysl. Změnou elektro provedení tak nedojde k nějakému navýšení nákladů, jak v oblasti vybavení elektrorozvaděčů, tak ani v ASŘ v počtu analogových a binárních proměnných. V rámci sloučení ampérového hlídání se sloučí i celá elektro část, kabeláž a jištění jen na celkem 8 pohonů dvou skříní. Pomocí ovládacích tlačítek, případně přes vizualizaci ASŘ se pouze předdefinuje pracovní dvojice sousedních podlah. Systém bude odolný vůči zadávání nelogických (nesousedních) dvojic skříní.

Dále navrhuji, aby hodnoty ve vizualizačních obrazovkách ASŘ byly zahrnuty i do příslušných grafů a současně i archivních protokolů a aby tím bylo možné se k měřeným údajům kdykoliv vracet a sledovat tak postupný vývoj některých háklivějších situací nebo problémových míst v historii archivních protokolů.

Dále navrhuji, aby ke každé měřené hodnotě byly předdefinovány následující limity:

- varovná hodnota zatížení (např. 100% nominální zátěže), informace pouze na displeji
- kritická hodnota zatížení (např. 115% nominální zátěže), informace navíc i sirénou
- havarijní limit 1 (např. 125% zátěže) kdy se pohon automaticky zastaví a blokuje.

Při blokaci a zastavení pohonu na jednom šroubu se automaticky zastavují všechny zbývající tři pohony. Obsluze bude dána možnost linky tzv. krátkodobě „deblokovat“ funkci ampérového hlídání, přebere tak ale zodpovědnost za stav na sebe.

- havarijní limit 2 (např. 150% zátěže), kdy se pohon na všech šroubech zastaví a je nutná oprava. Při překročení této hodnoty nebude jednoduché zvolit deblokaci, protože již bude hrozit reálná možnost mechanického poškození. Deblokace bude umožněna jen přes speciální heslo, které bude znát pouze technolog, nebo vedoucí sladovny.

4.1.2 Vliv zrušení mechanického propojení přes roznášecí hřídele

Ve stávajícím stavu je umístění otáčivých částí mechanismů zadavatelem práce kritizováno. Jednak je to ohrožení bezpečnosti práce, kdy těsně nad hlavou pracovníka obsluhy nebo údržby se točí hřídele i příruby. Jednak se jedná o velmi kritizovaný stav pronikání vlhkosti do převodovek kolem výstupních hřídelí. A naposled, není systém hlídán proti poruše nebo zlomení těchto hřídelí.

Proto navrhuji v souvislosti s předchozím bodem (4.1.1) zrušit tyto propojovací hřídele a tím výše uvedené problémy zcela eliminovat.

V souvislosti se zrušením mechanického propojení bude nutné posílit hlídání součinnosti všech pohonů a hlídání výšek všech šroubů. Součinnost se hlídá i v současném stavu. Vyhodnocuje se 8x za otáčku šroubu, že se převodovka nad šroubem točí, či nikoliv. Pokud se jeden ze čtveřice pohonů zastaví, systém celé podlahy se zastaví a obsluha je informována, kterého šroubu se situace týká.

Nyní navrhuji, aby se z otáčení šroubů přepočítávala výška každého šroubu a stanovila se limitní hodnota rozdílu. Obsluha bude tedy informována o výšce všech čtyř šroubů. A tedy navrhuji dva limity rozdílnosti výšek:

- varovná hodnota rozdílnosti, například 25 mm,

- kritická hodnota rozdílnosti, například 75 mm,

Při rozdílné hodnotě 0-25 mm bude pohyb pokračovat bez jakéhokoliv hlášení.

Při rozdílné hodnotě 25-75 mm bude pohyb ještě pokračovat, ale s varovným hlášením o vyšší rozdílnosti výšek jednotlivých šroubů.

Při překročení rozdílu 75 mm se zdvih podlahy zastaví a za dozoru obsluhy se automaticky výška dorovná tak, že se pohon šroubu, na kterém vznikl rozdíl, spustí samostatně za klidu ostatních pohonů. Tuto operaci musí obsluha tlačítkem odstartovat, kontrolovat a pak i vizuálně zkontrolovat, že je podlaha srovnaná a nakonec i tlačítkem potvrdit, že podlaha po srovnání může pokračovat v pohybu. Proces dorovnávaní podlahy navrhuji provádět i preventivně cca 1x za týden ve stavu horní koncové polohy, kdy je podlaha prázdná, bez sladu a kdy je nejlépe vidět rozdílnost výšky zespodu i z horní obslužné uličky technologické linky.

4.1.3 Vliv sjednocení konstrukce převodovek a zrušení kuželových soukolí

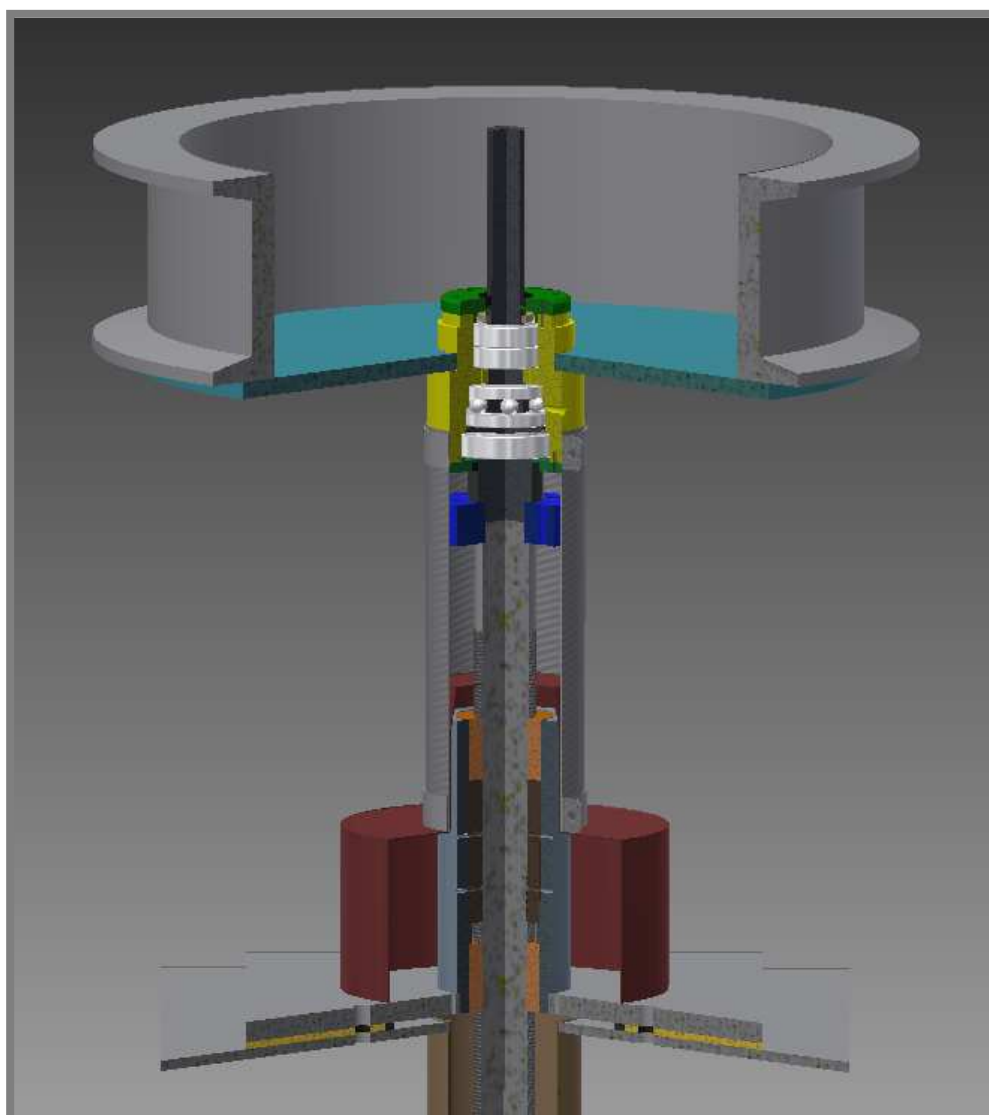
Tím, že se ruší vzájemné propojení převodovek, tak se také ruší kuželová soukolí, rozdílnost levého a pravého šnekového soukolí u stávajících převodovek a pak všech 24 převodovek šesti skříní v novém konstrukčním řešení získá naprostou konstrukční, výrobní i montážní shodnost. Tím se dodavateli výrazně sníží výrobní náklady i nutnost držení menšího počtu náhradních dílů během záruční doby.

4.2 Detailní popis konstrukčních prvků systému zvedání

4.2

Firma KVM-SK, s.r.o. se konstrukci a technologii sladoven věnuje již řadu let. Jedná se tedy o velmi vyspělou a pokročilou technologii. Všechny konstrukční, popřípadě zabezpečující prvky navrhnuté pro stabilizaci jednotlivých součástí, jako těsnění, zajištění ložisek, spojovací součásti nebo podpěry, sloužící k vyztužení a zajištění tak celkové bezpečnosti, jsou během několikaletého provozu odzkoušeny v praxi. U mechanismu zdvihu (trapézového šroubu) nejsou během provozu jakékoliv problémy, tedy tomuto systému není věnována až taková pozornost, jako hnací dvoustupňové šnekové převodovce.

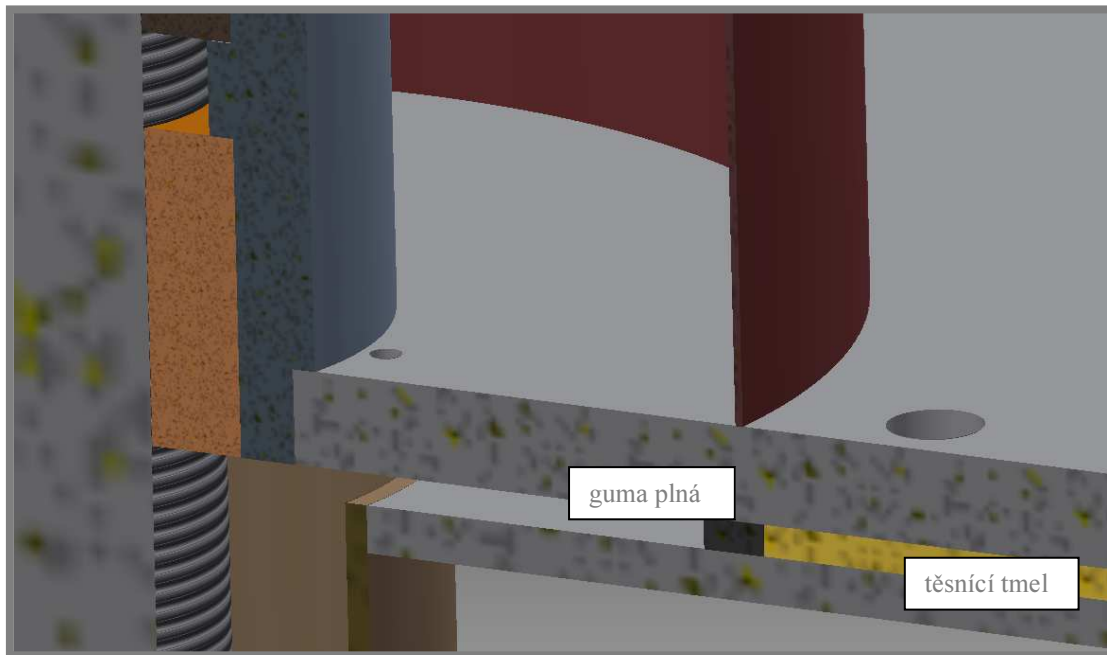
V následujícím obrázku je schematicky znázorněno konstrukční provedení systému mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní. Jedná se o orientační konstrukci sestavy jednotlivých součástí. Bližší specifikace konstrukce jsou rozebrány níže, u popisu nejdůležitějších konstrukčních a technologických prvků systému zvedání.



Obr. 4.2 Schéma mechanismu zdvihu

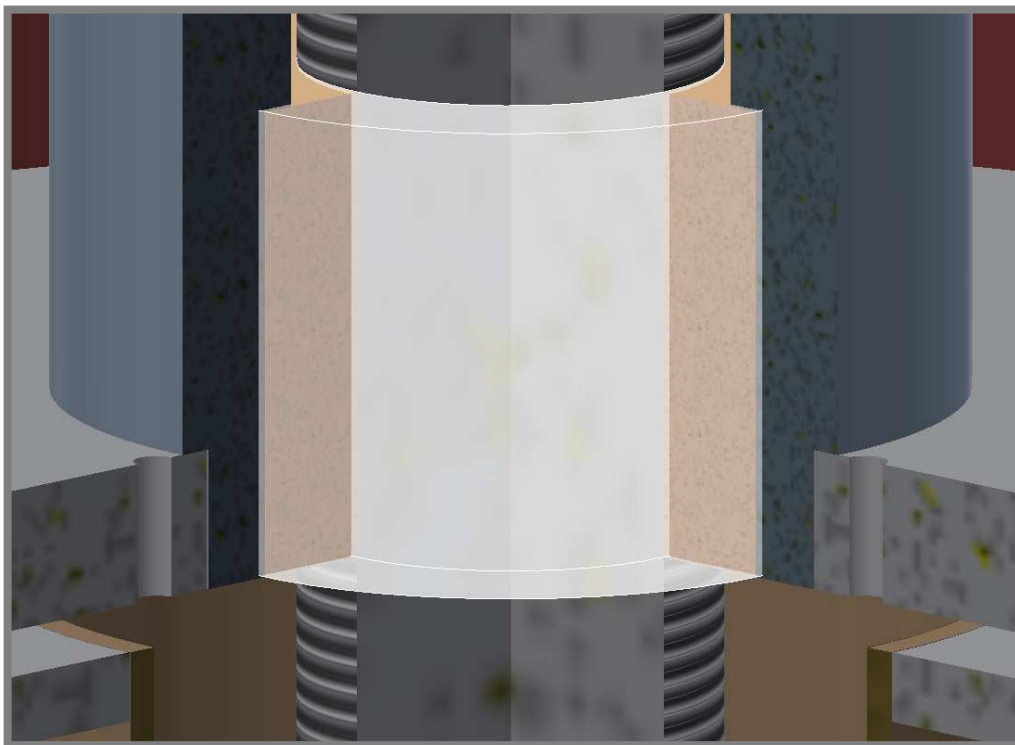
V následujících odstavcích popisují nejdůležitější konstrukční a technologické prvky, které jsou u mechanismu zdvihu (trapézového šroubu) použity. K dalším konstrukčním řešením se odkazují na výkres sestavy mechanismu zdvihu, který je umístěn jako příloha této bakalářské práce.

Na následujícím obrázku je zobrazeno umístění gumy plné s profilem 20x20 mm. Slouží k zajištění těsnění, před vylitím oleje ven. Guma plná je poté zajištěna proti pohybu hmotností celé konstrukce mechanismu zdvihu (trapézového šroubu) a vstříkem tmelové vrstvy.

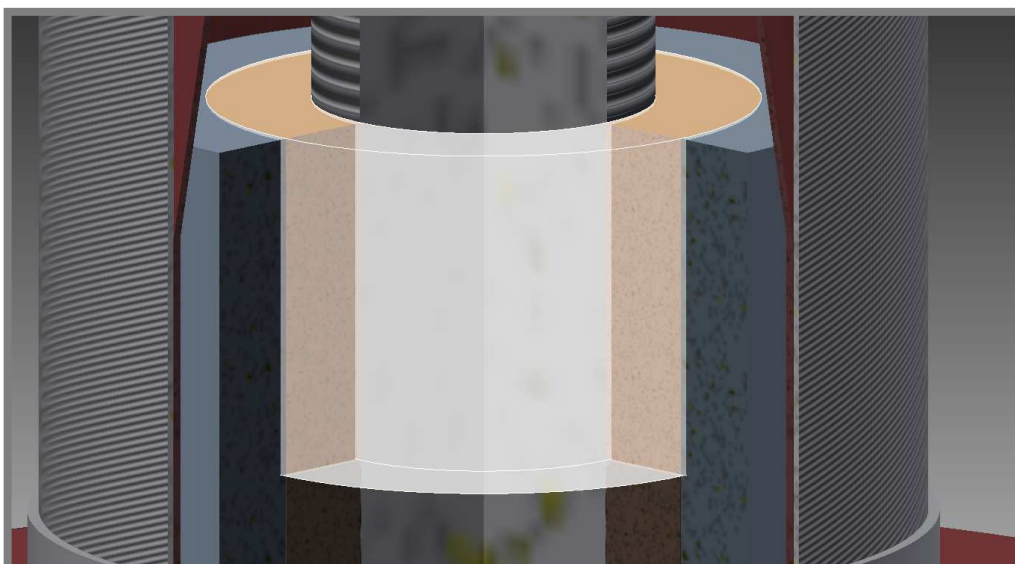


Obr. 4.3 Detail konstrukčního řešení 1 (Guma plná a těsnící tmel)

Dalšími důležitými konstrukčními doplňky, v místě velmi drahé trapézové matice, která je na míru vyrobena z bronzové slitiny, jsou kluzná pouzdra. Tyto konstrukční prvky společně s trubicí zajistí zabezpečení matice při možném vychýlení z osy trapézového šroubu. Ve stavu, kdy dojde k vychýlení trapézového šroubu, se nejprve poškodí kluzná pouzdra, která jsou na výměnu mnohem více cenově výhodná.



Obr. 4.4 Detail konstrukčního řešení 2 (Kluzné pouzdro 1)



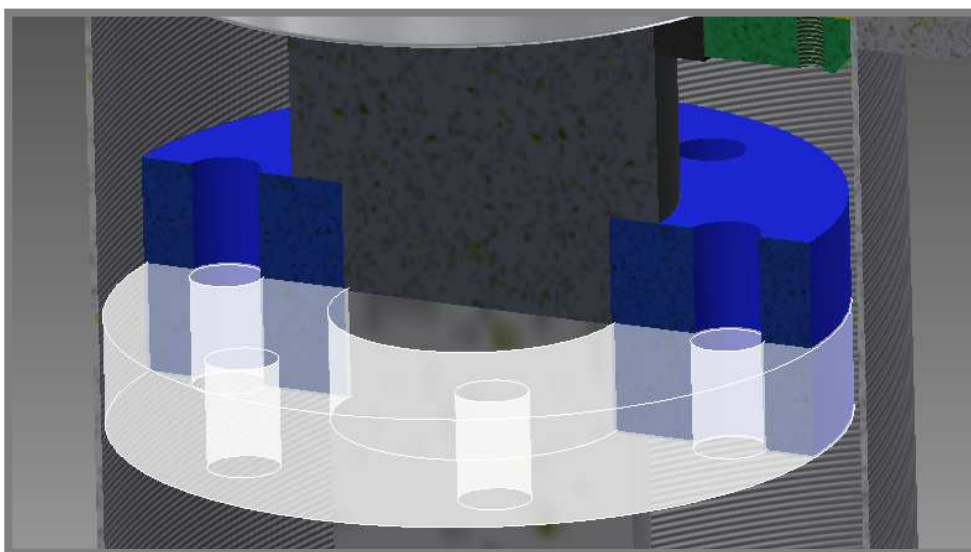
Obr. 4.5 Detail konstrukčního řešení 3 (Kluzné pouzdro 2)

Během provozu docházelo často k natržení hadice převážně z toho důvodu, že hrana vrchní části jímky se nacházela v bezprostřední blízkosti s hadicí. Provedlo se tedy zúžení tvaru vrchní části jímky, tím hrana jímky nemůže způsobit kolizi s pohybuující se hadicí. Ta je velmi důležitá, protože slouží jako těsnění nezakrytých konstrukčních prvků před 100% vlhkostí.



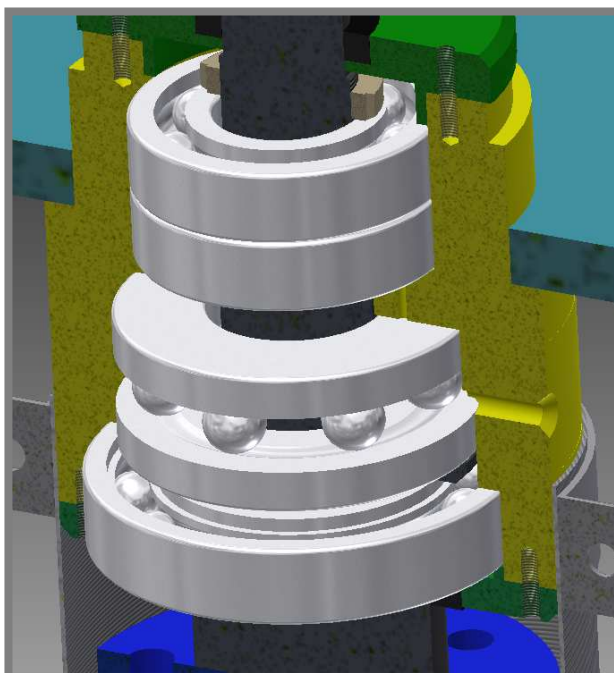
Obr. 4.6 Detail konstrukčního řešení 4 (Vrchní část jímky)

Přenos krouticího momentu a otáček je zde mezi hřídelí a trapézovým šroubem realizováno přírubovým spojením. Jednotlivé příruby jsou přivařené k hřídeli a trapézovému šroubu.

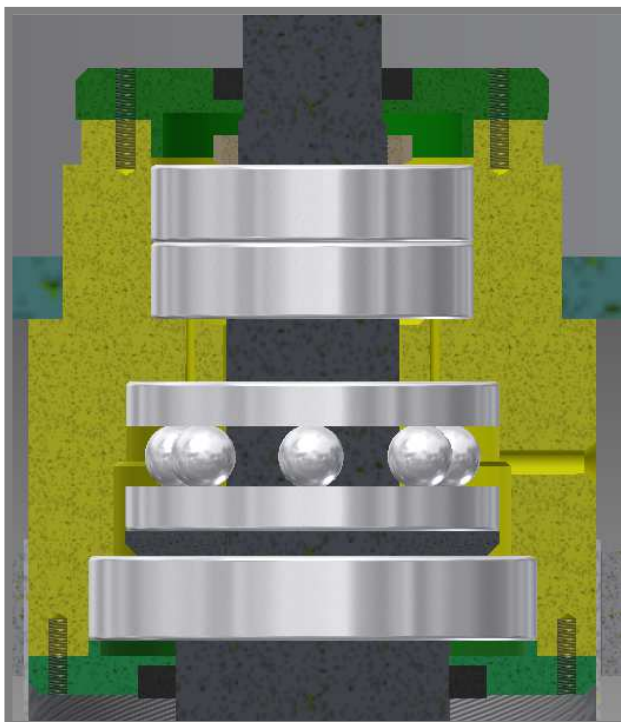


Obr. 4.7 Detail konstrukčního řešení 5 (Přírubové spojení)

Použitá ložiska jsou konstrukčně zajištěna tělesem hřídele, dvojicí vík, podložkou, KM maticí a gufery.



Obr. 4.8 Detail konstrukčního řešení 6 (Zajištění ložisek, pohled 1)



Obr. 4.9 Detail konstrukčního řešení 7 (Zajištění ložisek, pohled 2)

Obrázky 4.2 až 4.9 byly vytvořeny v systému Autodesk Inventor 2015 a neobsahují konstrukční prvky sloužící k vyztužení (žebra). Bližší specifikace konstrukce jsou uvedeny ve výkresu sestavy mechanismu zdvihu a ten je umístěn v příloze této bakalářské práce.

4.3 Popis konstrukce navrhované převodovky

4.3.1 Typ převodu

Pro mechanismus zdvihu podlahy se zvolil šnekový ozubený převod. Dle vstupních parametrů motoru od firmy Siemens o výkonu 2,2 kW jsem musel navrhnout vhodný převodový poměr, aby se ve výsledku dosáhlo požadovaného maxima 2,2 až 2,5 otáček za minutu. Rychlejší otáčky z technologického hlediska výroby sladu nejsou možné. Pro dosažení požadovaných menších rozměrů se musel zvolit dvoustupňový šnekový převod a oba stupně i včetně elektromotoru vhodně seskupit, aby nepřesáhly jak půdorysné rozměry, tak hlavně výšku. Dvoustupňové provedení převodovky rozdělilo celkový převodový poměr $i_c = 625$ rovnoměrně v obou stupních, každý o převodovém poměru $i_{1,2} = 25$. Zároveň byly zohledněny požadavky zadavatele práce na snadnou možnost výroby i montáže převodovek v režii zadavatele, tedy jeho nezávislost na dodávkách speciálních převodů.

Zadavatel obecně na své technologii preferuje jednoznačně pro tuto část technologie šnekový převod, a proto jsem uvedené požadavky a preference respektoval a nevolil jiný typ převodu.

4.3.2 Volba vstupních parametrů

Vstupní parametry jsem navrhl tak, aby se vyhovělo podmínce na předimenzování. Což znamená dosažení co největší možné velikosti ozubeného soukolí. Masivní ozubený převod je poté zdaleka méně náchylný na možný havarijní stav, například na prasknutí, či povrchové poškození ozubení. Zejména se to týká hodnot u osového a tzv. normálního modulu i součinitele průměru šneku.

4.3.3 Materiál

Po materiálové stránce se navrhly nejlepší materiály jako cínový bronz a ušlechtilá ocel. Hodnoty mechanických vlastností u těchto materiálů jsou blíže specifikovány ve výpočtové zprávě dvoustupňové šnekové převodovky. Během výpočtů bezpečností na ohyb, dotyk, ale i v nebezpečných místech soukolí se osvědčila jen tato materiálová varianta. Pouze cínový bronz ozubených kol a ušlechtilá ocel šneků by mohly vydržet zátěž bez poškození, pro určitou dobu trvanlivosti.

4.3.4 Ložiska

4.3.4

Pro tento typ konstrukce by se mohlo použít opravdu velké množství variant různých typů ložisek. Nicméně díky velmi omezenému prostoru na uložení převodovky na mechanismus trapézového šroubu se mohly uvažovat pouze varianty valivých radiálních kuličkových ložisek, popřípadě se stejnými rozměry valivá radiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, která navíc přenáší větší části axiálních sil.

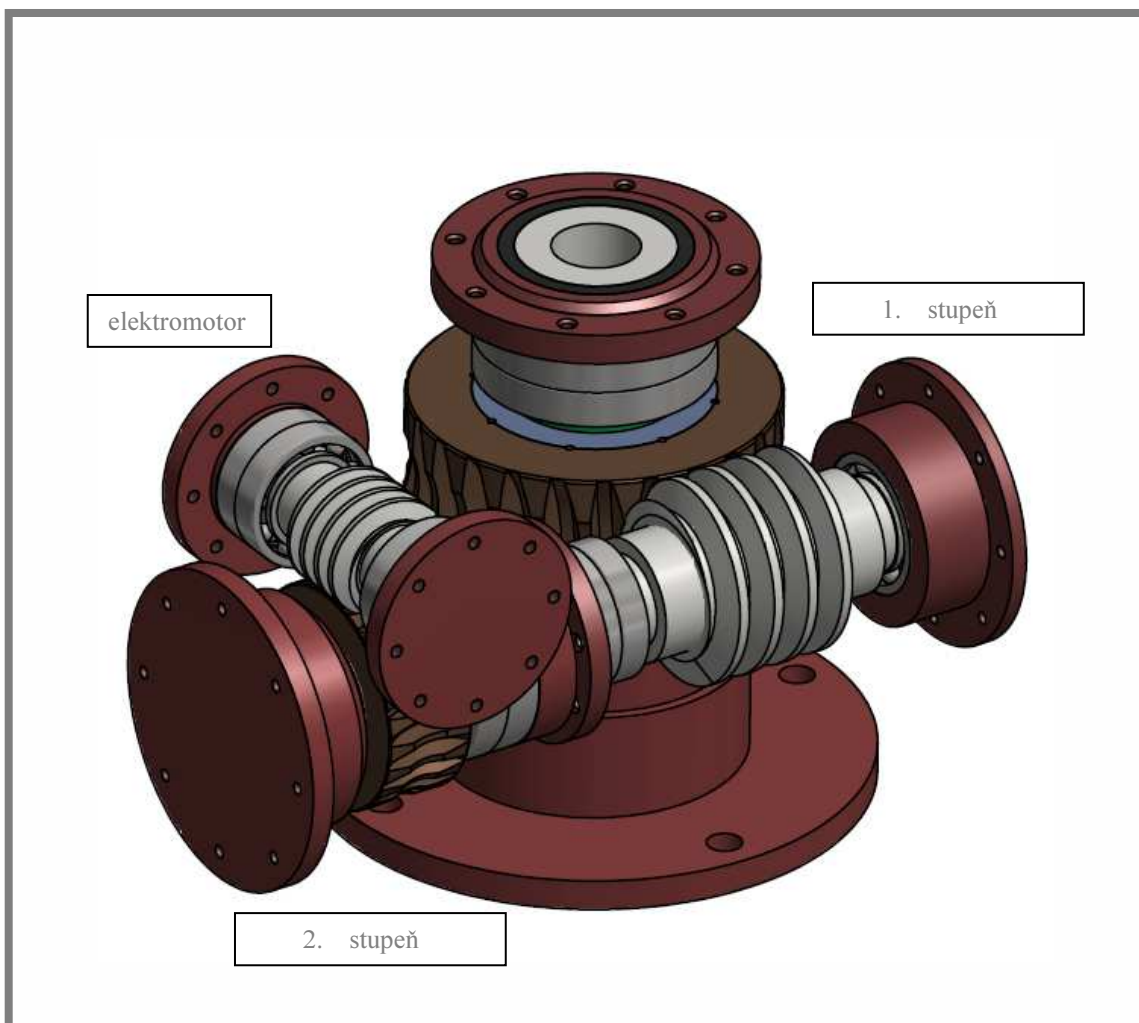
Pro konstrukční provedení převodovky se tedy nejprve zvolila zcela běžná radiální kuličková ložiska, až v případě jakýchkoliv problémů by se použila radiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Dále se akceptoval požadavek zadavatele na zdvojení ložisek z důvodů omezení havárie. V případě, že jedno ložisko havaruje, druhé ložisko z dvojice bude mít schopnost zabránění rozsáhlejších poškození na ozubení.

Bližší specifikace je opět uvedena v příloze výpočtové zprávy dvoustupňové převodovky.

4.4 Detailní popis konstrukčních prvků převodovky

Z hlediska konstrukce a montáže jsou zde od zadavatele kladeny velké důrazy na jednoduchost, na realizaci a jednoznačnost celého výsledného řešení jak u mechanismu zdvihu, tak i dvoustupňové šnekové převodovky.

V následujícím obrázku je schematicky znázorněno konstrukční provedení převodovky. Jedná se o orientační konstrukci sestavy jednotlivých součástí. Bližší specifikace konstrukce jsou rozebrány níže, u popisu nejdůležitějších konstrukčních prvků převodovky.

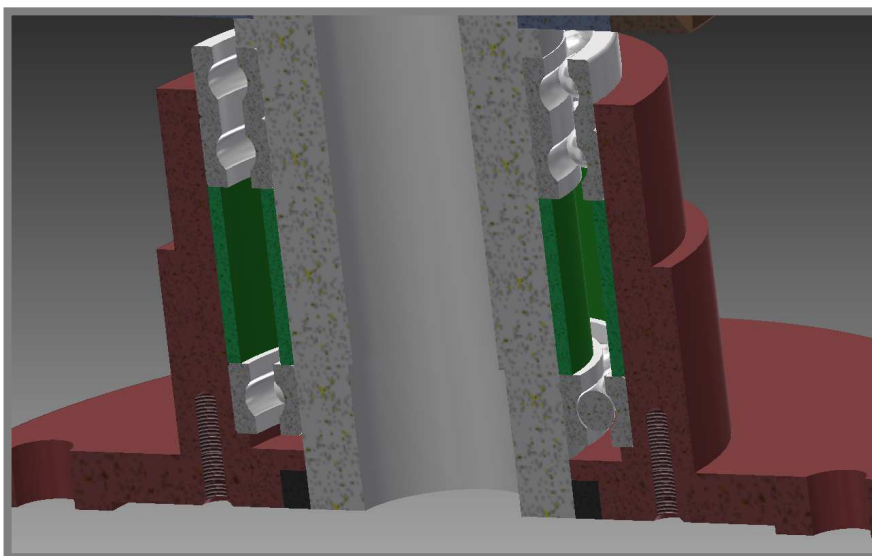


Obr. 4.10 Schéma převodovky

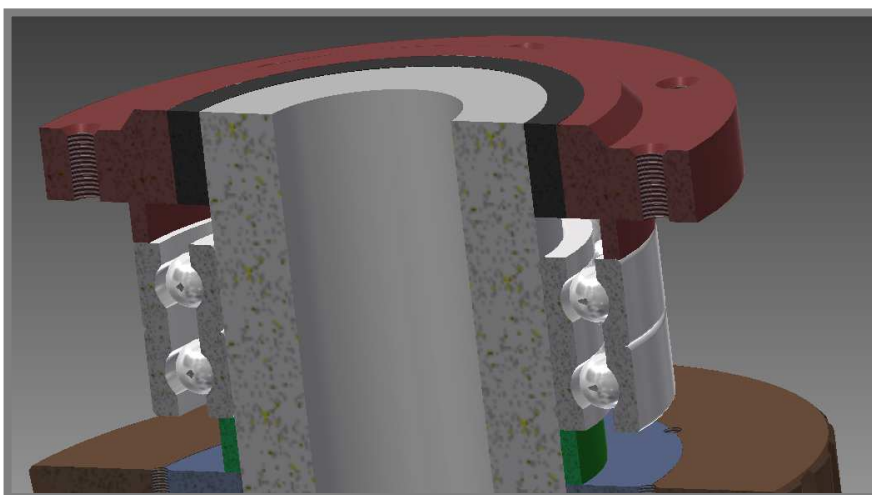
V následujících odstavcích popisují nejdůležitější konstrukční a technologické prvky, které jsou u dvoustupňové šnekové převodovky použity. K dalším konstrukčním řešením se odkazují na výkresy sestav převodovky, které jsou umístěny jako přílohy této bakalářské práce.

Ložiska jsou zajištěna proti posunutí použitím osazením na hřídeli, víky a popřípadě i částí svařené skříně.

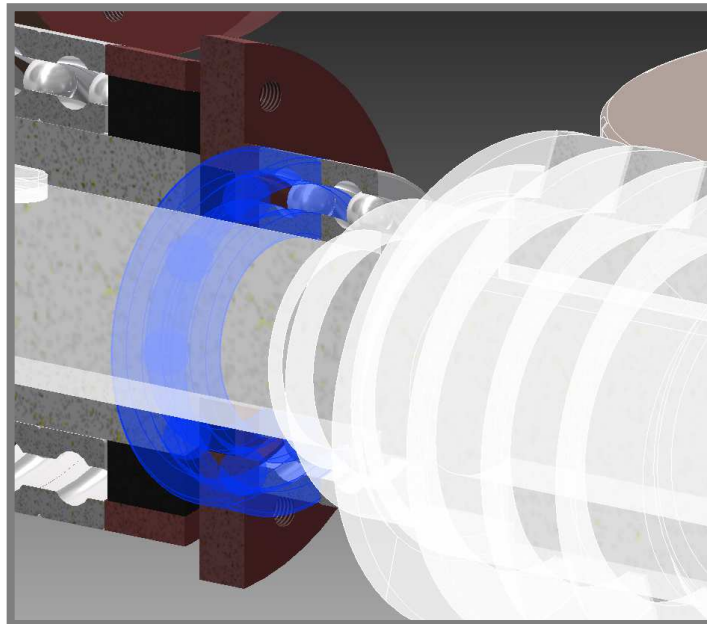
Těsnění, před 100% vlhkostí, je zde primárně provedeno profilem U300, který je jednou ze součástí obsahující mechanismus zdvihu a sekundárně provedeno gufery.



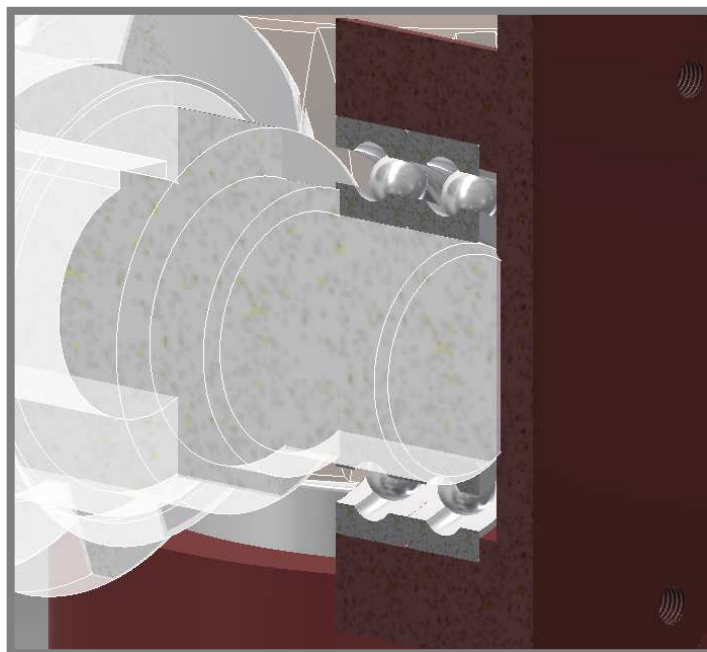
Obr. 4.11 Detail konstrukčního řešení 8 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)



Obr. 4.12 Detail konstrukčního řešení 9 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)



Obr. 4.13 Detail konstrukčního řešení 10 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)



Obr. 4.14 Detail konstrukčního řešení 11 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)

Obrázky 4.10 až 4.14 byly vytvořeny v systému Autodesk Inventor 2015 a neobsahují konstrukční prvky sloužící k vyztužení (žebra), elektromotoru, ani prvky svařené skříně. Je zde zobrazena orientační konstrukce 2. stupně dvoustupňové šnekové převodovky. U 1. stupně je vše realizováno obdobným způsobem. Bližší specifikace konstrukce jsou uvedeny ve výkresech sestav převodovky a ty jsou umístěny v jednotlivých přílohách této bakalářské práce.

5 DISKUZE

5

5.1 Diskuze se zadavatelem práce

5.1

Se zadavatelem práce se diskutovalo jednak detailní provedení převodovky, ale hlavně vlivy změny konstrukčního řešení popsané v této zprávě v bodech 4.1.1 až 4.1.3.

Zadavateli se změna počtu elektro převodovek velmi líbila a označil tuto změnu jako smysluplnou a jednoduše proveditelnou. Změnu, která předčila jeho očekávání. Dále konstatoval, že jeho dílčí zadání a cíle se podařilo splnit a že určitě tuto práci využije pro konkrétní konstrukční řešení linky v budoucí zakázce. Práce tak bude mít zcela určitě skutečnou odezvu v praxi.

Zadavatel dále potvrdil, že v této práci popsané změny ampérového hlídání a redukce na měření pouze dvou pohybujiících se sousedních podlah, stejně tak popsaný způsob dorovnávání výšky jednotlivých šroubů je bez problémů realizovatelný, a že nepřinese nějaké zvýšení nákladů na realizaci další linky.

Zadavatel ocenil zejména tu skutečnost, že se podařilo sjednotit všechny převodovky do jednoho naprosto shodného provedení (místo původní jedné elektro převodovky a 4 ks šnekových roznášecích převodovek), což mu výrazně ušetří budoucí výrobní i montážní náklady. Zároveň zadavatel přivítal zrušení kuželových soukolí a zejména zrušení sestavy roznášecích hřídelí s jejich neblahým vlivem na pronikání vlhkosti do stávajících převodovek.

U vlastního provedení převodovky byl zadavatel spokojen s tím, že se podařilo dodržet tvar dvoustupňové převodovky i s elektromotorem v požadovaných rozměrech, což mu umožní realizovat změnu pohonu podlahy bez zásadní změny její nosné konstrukce. A také, že nebude nutné provádět nějaké změny na vlastních trapézových šroubech.

Dále akceptoval mou volbu obou stupňů převodovky, její konstrukci (viz výkresy) volbu materiálů šnekových kol i šneků, nakonec i volbu ložisek. Takto navrženou převodovku pak do dopracování detailních výrobních výkresů bude možné bez zásadních úprav dát rovnou do výroby.

5.2 Diskuze s vedoucím práce

5.2

Pro zajištění synchronního pohybu mechanismů, které nesou celou zátěž podlahy, se musela změnit technologie uspořádání elektro převodovek. Tedy na každý trapézový šroub umístit samostatné převodovky, které budou v rámci možnosti zajišťovat synchronní pohyb. Zde bylo hlavním diskutovaným tématem volba typu ozubení, které se na převodovku použijí. Mezi uvažovanými variantami bylo čelní, šnekové, cykloidní či kuželové soukolí. Nejlepší variantou se ve výsledku zdála být šneková. Díky svým vlastnostem nám nejlépe zredukovala otáčky, a jelikož je vhodně konstrukčně řešená, vejde se bez problému do U profilu, který chrání převodovku před kontaktem s vlhkým vzduchem. Hlavním diskutovaným tématem při návrhu mechanismu pohonu podlahy klíčirenských skříní bylo výsledné předimenzování převodu. To byl hlavní požadavek zadavatele firmy KVM-SK, s.r.o. Při výpočtech se tedy poté musely zvolit ty největší parametry (například osový modul, součinitel průměru šneku), které mají značný vliv na velikost ozubení.

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh řešení a konstrukční změna dílčího mechanismu zdvihu podlah klíčirenských skříní s ohledem na dosažení maximální spolehlivosti a kontroly zdvihu podlah pro eliminaci vzniku havarijních stavů a tím eliminaci nebo snížení nevýhod stávajícího řešení. Práce zahrnuje stručný popis stávajícího konstrukčního řešení, do kterého jsem taktéž zahrnul základní rizika havarijních stavů. Dále jsem zde uvedl popis variací a druhů klíčirenských technologií, u kterých se můžeme dozvědět specifické a důležité informace o sladování. Zmíněna je také obecná problematika o uvažovaných typech ozubených převodů. V rámci výběru a po doporučení od zadavatele se zvolila dvoustupňová šneková převodovka.

Výstupem této bakalářské práce je konstrukční řešení pohonu mechanismu klíčirenských skříní, kde jsem blíže specifikoval návrh celého mechanismu pohonu podlah. Dále jsem nastínil automatický systém řízení u elektromotorů jednotlivých převodovek, návrh posílení hlídání součinnosti všech pohonů a hlídání výšek všech šroubů.

Nejdůležitějším závěrem je, že zadavatel práce byl natolik spokojen s navrženým řešením, že projevil velmi vážný zájem k pokračování spolupráce jak se mnou, tak i případně s Ústavem konstruování při řešení podobných konstrukčně technologických problémů, kdy výsledky této spolupráce se jednoznačně kladně projeví i v praxi.

V seznamu příloh jsou umístěny výkresy sestav dvoustupňové šnekové převodovky, montážní výkres převodovky, výkres sestavy mechanismu uložení trapézového šroubu, seznam položek k dvoustupňové šnekové převodovce a k mechanismu uložení trapézového šroubu, výpočtovou zprávu dvoustupňové šnekové převodovky a schéma sladovny.

Výkresy sestav byly vytvořeny v systému AutoCAD 2015 a modely v systému Autodesk Inventor 2015.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

7

- [1] KOSAŘ, Karel a kol. *Technologie výroby sladu a piva*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 2000. 398 s. ISBN 80-902658-6-3.
- [2] Boháček, František: *Části a mechanismy strojů III. Převody*. Brno: VUT Brno, 1987. 2. vyd. 267 s.
- [3] Hlavní katalog SKF 1989, SKF Československo, a. s., Praha, 976 s.
- [4] MOTOR – GEAR s.r.o. katalog 2005, Frenštát pod Radhoštěm, Siemens

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Schéma stávajícího stavu	14
Obr. 1.2	Pohled na horní část náduvníku, sladovna Mšeno	17
Obr. 1.3	Pohled na spodní část náduvníku, sladovna Mšeno	17
Obr. 1.4	Pohled na vymáčku ječmene na první klíčící skříň, sladovna Mšeno	18
Obr. 1.5	Pohled na první klíčící skříň před srovnáním ječmene, sladovna Mšeno	18
Obr. 1.6	Pohled na první klíčící skříň po srovnání ječmene, sladovna Mšeno	19
Obr. 1.7	Pohled na klíčící linku, sladovna Mšeno	19
Obr. 1.8	Pohled na prostor trapézových šroubů, sladovna Mšeno	20
Obr. 1.9	Pohled na celou klíčící linku, sladovna Brodek u Přerova	20
Obr. 1.10	Pohled na PC vizualizace ASŘ, sladovna Brodek u Přerova	21
Obr. 1.11	Pohled na velín, sladovna Brodek u Přerova	22
Obr. 1.12	Pohled umístění sladu před sušením, sladovna Brodek u Přerova	22
Obr. 1.13	Pohled na budovu sušení, sladovna Brodek u Přerova	23
Obr. 2.1	Schématické zobrazení konstrukčního řešení 1 (pokles podlahy)	24
Obr. 2.2	Schématické zobrazení konstrukčního řešení 2 (zdvih podlahy)	25
Obr. 2.3	Schématické zobrazení procesu klíčení (první podlaha – pokles, druhá podlaha – zdvih)	25
Obr. 3.1	Pohled původní humnové klíčení, sladovna Mšeno	27
Obr. 3.2	Schéma posuvná hromady	28
Obr. 3.3	Linka posuvné hromady Sladovna Radegast	28
Obr. 3.4	Schéma Saladinovy skříně	29
Obr. 3.5	Linka Saladinovy skříně sladovna Prazdroj	29
Obr. 3.6	Schéma klíčírny systému Lausmann	30
Obr. 3.7	Linka KVM klíčírny sladovna Brodek u Přerova	31
Obr. 3.8	Schéma věžové sladovny	32
Obr. 4.1	Schéma konstrukčního provedení nového řešení	36
Obr. 4.2	Schéma mechanismu zdvihu	39
Obr. 4.3	Detail konstrukčního řešení 1 (Guma plná a těsnící tmel)	40
Obr. 4.4	Detail konstrukčního řešení 2 (Kluzné pouzdro 1)	41
Obr. 4.5	Detail konstrukčního řešení 3 (Kluzné pouzdro 2)	41
Obr. 4.6	Detail konstrukčního řešení 4 (Vrchní část jímky)	42
Obr. 4.7	Detail konstrukčního řešení 5 (Přírubové spojení)	42
Obr. 4.8	Detail konstrukčního řešení 6 (Zajištění ložisek, pohled 1)	43
Obr. 4.9	Detail konstrukčního řešení 7 (Zajištění ložisek, pohled 2)	43
Obr. 4.10	Schéma převodovky	46
Obr. 4.11	Detail konstrukčního řešení 8 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)	47
Obr. 4.12	Detail konstrukčního řešení 9 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)	47
Obr. 4.13	Detail konstrukčního řešení 10 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)	48
Obr. 4.14	Detail konstrukčního řešení 11 (Uložení ložisek a těsnění 2. stupeň)	48

9 SEZNAM PŘÍLOH

9

1. VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA DVOUSTUPŇOVÉ ŠNEKOVÉ PŘEVODOVKY
2. SCHÉMA SLADOVNY
3. VÝKRES SESTAVY I (1. STUPEŇ)
4. VÝKRES SESTAVY II (2. STUPEŇ)
5. VÝKRES SESTAVY III (SESTAVENÍ PŘEVODOVKY)
6. VÝKRES SESTAVY IV (ŘEZ PŘEVODOVKY)
7. SEZNAM POLOŽEK (PŘEVODOVKA, 2 listy)
8. VÝKRES SESTAVY V (MECHANISMUS ZDVIHU)
9. SEZNAM POLOŽEK (MECHANISMUS ZDVIHU, 2 listy)