

# LINEÁRNÍ MOTORY

Typ  
Type  
Typ

L1S

L1SK

L2S

L2SK

L3S

L3SK

LTSK

LNS

LA

## 1. Obecně

### 1.1. Úvod

K velkému rozvoji výroby a k praktickému uplatnění lineárních motorů a pohonů došlo až v posledních deseti letech, přestože principy jejich konstrukce jsou známy stejně dlouhou dobu jako u strojů rotačních. Dříve zůstávalo u patentů, u výroby prototypů nebo stavby technických specialit. Důvody je třeba hledat jednak v ekonomii – lineární motor, zejména s delší drahou, je dražší než motor rotační srovnatelného výkonu – jednak v problémech technického rázu :

- ❑ zachycení relativně velké přitažné síly mezi primárním a sekundárním dílem;
- ❑ uspořádání mechanického vedení;
- ❑ přívod energie do pohyblivé části.

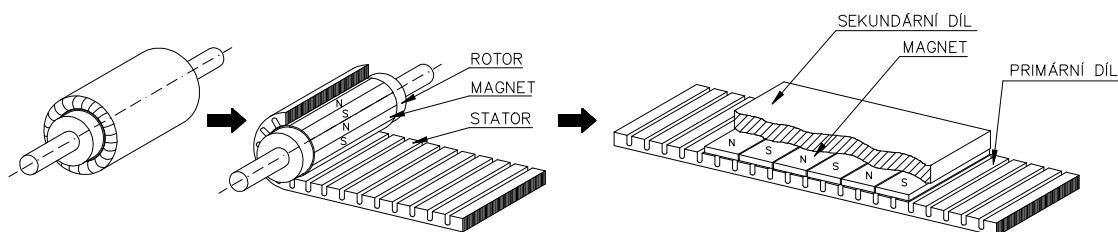
Jedním z důvodů rozvoje lin. motorů je nalezení pohonu, pro něhož je charakteristická :

- ❑ větší dynamika a širší rozsah regulace;
- ❑ větší rychlost posuvu;
- ❑ vyšší přesnost polohování.

Možnosti klasických rotačních motorů s mechanickým převodem z pohybu rotačního na pohyb lineární jsou totiž v řadě průmyslových odvětví využívány na mezi dynamiky danou setrvačnými hmotami a na mezi přesnosti dané mechanickými vůlemi a postupným opotřebením. Další důvody rozmachu výroby lineárních motorů jsou : technický vývoj, cenová dostupnost výkonové elektroniky (měničů kmitočtu, číslicových regulátorů), zpětnovazebných čidel a především permanentních magnetů, zejména typu Nd-Fe-B.

### 1.2. Konstrukce motorů

Lineární motor si můžeme představit jako klasický synchronní nebo asynchronní motor rozvinutý do roviny tak, jak je ukázáno na obrázku.



Obr.1.

Statorem je u lineárních motorů zpravidla označován primární díl (část) a rotorem sekundární díl (část). Primární část je tvořena stejně jako u klasických strojů feromagnetickým svazkem složeným z elektrotechnických plechů a trojfázového vinutí uloženého v jeho drážkách. U synchronních motorů je proti primárnímu dílu konstrukčně uspořádána sekundární část tvořená permanentními magnety ze vzácných zemin (např. Nd-Fe-B), které jsou nalepeny na ocelovou podložku. U asynchronní verze je sekundární díl tvořen klecí nakrátko uloženou buď do drážek feromagnetického svazku, nebo alespoň připevněnou na ocelovou podložku poháněného zařízení. Sekundární díl tvoří zpravidla delší část stroje. O tom, která část lineárního motoru se bude pohybovat rozhoduje konstrukce poháněného zařízení. V naprosté většině konstrukcí se pohybuje primární část po dráze tvořené libovolným počtem sekundárních dílů. Toto uspořádání ovšem vyžaduje pohyblivý napájecí kabel, kabel snímače polohy a je-li použito vodní chlazení, také pohyblivý přívod a odvod chladicí kapaliny.

Základní princip lineárního motoru má řadu obměn. Některé z nich se vyskytují v našem výrobním programu a jsou popsány níže.

Typ Type Typ
L1S
L1SK
L2S
L2SK
L3S
L3SK
LTSK
LNS
LA

### 1.3. Příslušenství lineárních motorů

Základní prvky lineárního pohonu jsou vlastní motor a napájecí zdroj. K těmto základním částem přistupují ještě mechanické vedení, přídatné chladiče, zabezpečovací prvky. Protože naprostou většinu pohonů tvoří pohony regulované, patří k pohonu ještě i řídicí systém skládající se nejméně z regulátorů a snímače polohy. Některé z uvedených částí patří přímo poháněnému zařízení a plní současně několik funkcí – např. mechanického vedení, odměřovacího systému (čidla polohy) a zabezpečovacích prvků jako mechanických dorazů, koncových spínačů funkčních i havarijních, mechanických krytů. Většinou jsou lineární motory dodávány jako vestavné díly a společně s příslušenstvím pohonu tvoří stavebnici.

#### 1.3.1. Mechanické vedení

Mechanické vedení musí splňovat dvě základní podmínky - statickou a dynamickou únosnost a požadovanou rychlost posuvu. Orientačně lze uvést následující doporučení pro volbu mechanického vedení:

- kluzné kovové plochy se smykovým třením jsou vhodné pro rychlosti do  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- kuličková pouzdra se smykovým třením vyhovují rychlosti do  $1 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- lineární ložiska kuličková nebo válečková s valivým třením umožňují rychlosti posuvu do  $10 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- keramické kluzné plochy nasycené např. teflonem dovolují rychlosti do  $20 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- vzduchová ložiska a levitační systémy jsou určeny pro rychlosti až do  $100 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- nejnovější literatura uvádí možnou posuvnou rychlost až do  $140 \text{ m.s}^{-1}$  ;

#### 1.3.2. Odměřovací systémy

Odměřovací systémy jsou z naprosté většiny inkrementální a pracují na reluktančním, magnetickém nebo fotoelektrickém principu.

Reluktanční a magnetické snímače jsou tvořeny snímací magnetickou hlavičkou a nosným páskem požadované délky s tenkou záznamovou vrstvou nesoucí informace o poloze (magnetickou mřížku). Optické snímače nejmodernější konstrukce mají na nosném kovovém pásku vypálený systém rysek s roztečí  $20\mu\text{m}$  nebo  $40\mu\text{m}$ . Snímací hlavička se skládá ze světelného (laserového) zdroje, snímací optické soustavy, zaměřené na signál odražený od pásku, a elektronického tvarovacího obvodu.

#### 1.3.3. Řídicí systém – regulátory

Téměř výhradně se používají regulátory číslicové. Uspořádání tří zpětných vazeb - vnitřní proudové, střední rychlostní a vnější polohové - je již pravidlem. V některých případech bývá do obvodu vložena ještě regulace zrychlení a jsou také přidány filtry (pásmové propusti) pro zlepšení mechanické stability pohonu.

Základním prvkem regulačního obvodu je procesor s vysokou operační rychlostí (až  $10^7$  instrukcí za sekundu) a interpolátor. Komunikace mezi řídicím systémem a lin. motorem je obousměrná. Motor nepřijímá řídicí instrukce systému jen pasivně, ale pomocí různých čidel jej také informuje o svém stavu. Kromě již zmíněné polohy a uvedeného proudu je možno snímat i napětí, teplotu, signalizovat přetížení, vypadení ze synchronismu, ztrátu stability regulace apod. V literatuře se pro pohony řízené tímto způsobem užívá termín inteligentní pohony.

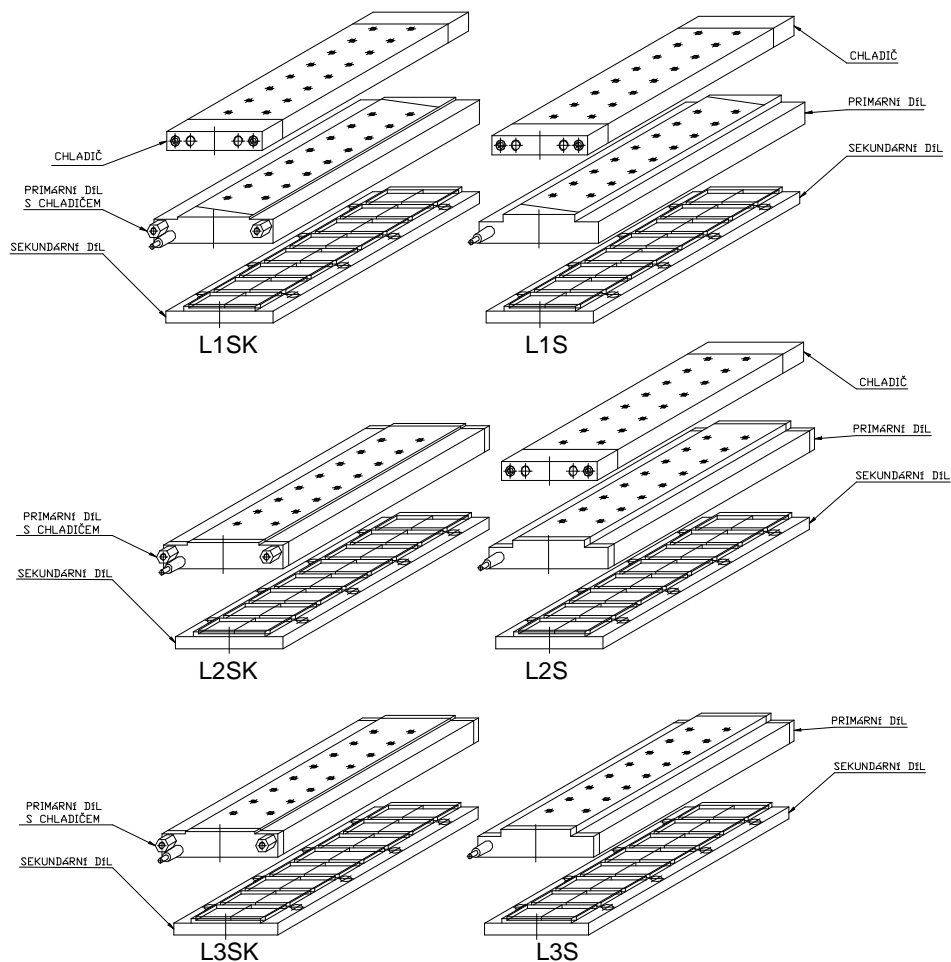
## 2. Výrobní program lineárních motorů VUES Brno a.s.

Výrobní program lineárních motorů VUES Brno a.s. je zaměřen především na produkci tří verzí synchronních lin. motorů. Zabývá se ovšem také výrobou asynchronních lineárních motorů nebo i speciálních synchronních tubulárních motorů (viz níže).

### 2.1. Synchronní lineární motory

Jedná se o trojfázové synchronní motory s vinutím rozloženým na primární části buzené permanentními magnety typu Nd-Fe-B se špičkovými magnetickými parametry, jež jsou součástí sekundární části (viz obrázek).

Motory jsou uzpůsobeny pro napájení z vektorově řízených měničů kmitočtu. Za výrobní standard jsou považovány motory napájené z měničů, jejichž napětí mezilehlého obvodu je 120, 330, 560 V<sub>DC</sub>. Na objednávku lze vinutí lineárních motorů vyrobit i pro napájení z měničů o jiných napětích mezilehlého obvodu.



Typ
L1S
L1SK
L2S
L2SK
L3S
L3SK
LTSK
LNS
LA

Obr.2.

Jak je naznačeno na obrázku č.2 rozlišujeme dvě základní konstrukce ve třech verzích lineárních synchronních motorů : jednoduchou, nazvanou L1S (verze 1), L2S (verze2), L3S (verze3), a konstrukci s integrovaným chladičem, označenou L1SK (verze1), L2SK (verze2) či L3SK (verze3).

\*Poznámka : Pro jednoduchost budeme jednotlivé konstrukce všech tří verzí souhrně označovat jako LXS a LXSK, kde X je číslo verze.

Primární díl je kompaktní celek s vinutím i magnetickým obvodem zalitým do umělé hmoty. V případě konstrukce LXSK\* je společně s vinutím a magnetickým obvodem navíc zalita i speciální konstrukce vodního chladiče. Sekundární díly lze skládat do potřebné délky posuvu. Magnety jsou chráněny před mechanickým poškozením a před vlivy prostředí tím, že jsou zality do umělé hmoty.

V základním provedení jsou lineární motory nabízeny jako vestavné se škálou doplňků (přídavné vodní chladiče, tepelně izolační desky ...).

- **L1S, L1SK** - standardní provedení ve velikostech o síle 50 až 10000 N a rychlostí posuvu od 0,01 mm/s do 15 m/s;
- **L2S, L2SK** - kompaktní provedení ve velikostech o síle 50 až 16000 N, rychlostí posuvu od 0,01 mm/s do 15 m/s a modulu šířky aktivní plochy 20 mm ;
- **L3S, L3SK** - kompaktní provedení ve velikostech o síle 50 až 16000 N, rychlostí posuvu od 0,01 mm/s do 15 m/s a modulu šířky aktivní plochy 25 mm.

Typ Type Typ
L1S
L1SK
L2S
L2SK
L3S
L3SK
LTSK
LNS
LA

## 2.2. Asynchronní lineární motory

Lineární motory řady LA pracují na principu asynchronního stroje. Oproti synchronnímu provedení lineárních motorů se vyznačují jednodušším a levnějším sekundárním dílem, který tvoří klec nakrátko. Klec nakrátko tvoří buď vinutí uložené do drážek, nebo hliníkový (měděný) pás připevněný na ocelové podložce. Druhý způsob provedení sekundárního dílu lze výhodně využít v dopravnících, průmyslových manipulátorech, podavačích, pohonech posuvných bran, dveří, závor a podobně. Další výhodou pro tyto nenáročné pohony je možnost přímého napájení ze standardní rozvodné sítě 3 x 400 V / 50 Hz bez nutnosti použití měniče kmitočtu.

- LA** - vyrábí se ve velikostech o síle 100 až 300 N.

## 2.3. Tubulární lineární motory

Pohony s tubulárními lineárními motory jsou určeny zejména pro přesné přísuvy vyvrtávacích automatů desek tištěných spojů, kde motory nesou vysokootáčková vyvrtávací vřetena, přísuvy obráběcích strojů, přísuvy hlavíc osazovacích automatů, regulované pohony ventilů, šoupátek apod. Skládají se z pevné primární části válcového tvaru, obsahující vinutí intenzivně chlazené vodou, a vnější pohyblivé části, tvořené ocelovou objímkou s permanentními magnety. Rotačně symetrické uspořádání stroje kompenzuje přitažné magnetické síly mezi primárním a sekundárním dílem tak, že se nepřenáší na poháněné zařízení. Výhodou tohoto motoru je absence pulsací tažné síly.

- LTSK** - vyrábí se ve velikostech o síle 300 až 1200 N, zdvihu 25 až 265 mm a v provedení buď vestavném, nebo s vlastní kostrou z taženého hliníkového profilu.

## 2.4. Synchronní lineární motory s primární částí bez feromagnetických materiálů

Primární díly těchto motorů neobsahují feromagnetické materiály. Vyznačují se především nízkou hmotností, absencí pulsací tažné síly, prakticky nulovými přitažnými silami mezi primárním a sekundárním dílem a vysokou efektivitou. Díky těmto vlastnostem lze výhodně použít v aplikacích náročných na rychlost posuvu, akceleraci, přesnost a nízkou hmotnost pohonu.

- LNS** - vyrábí se ve velikostech o síle 10 až 50 N.

# 3. Všeobecné technické a provozní podmínky motorů

## 3.1. Chlazení lineárních motorů

Primární díly:

- |  |             |   |
|--|-------------|---|
| <input type="checkbox"/> řada LXS* :           | IC40        | tj. přirozené chlazení povrchem motoru    |
| <input type="checkbox"/> řada LAS :            | IC40        | tj. přirozené chlazení povrchem motoru    |
| <input type="checkbox"/> řada LNS :            | IC40        | tj. přirozené chlazení povrchem motoru    |
| <input type="checkbox"/> řada LXSK* :          | IC3W7       | tj. vodní chlazení integrovaným chladičem |
| <input type="checkbox"/> řada LTSK :           | IC3W7       | tj. vodní chlazení integrovaným chladičem |
| <input type="checkbox"/> řada LXS* + chladič : | IC3W7       | tj. vodní chlazení přídavným chladičem    |
| <input type="checkbox"/> řada L1SK + chladič:  | IC3W7       | tj. vodní chlazení oběma typy chladičů    |
| <input type="checkbox"/> Sekundární díly:      | nechladí se |   |

## 3.2. Pracovní prostředí

Lineární motory jsou konstruovány pro použití v prostředí chráněném před povětrnostními vlivy definovanými v ČSN EN 60721-3-3. Základní údaje:

- teplota okolí +5 ÷ +25° C;
- relativní vlhkost vzduchu 5 ÷ 95 %;

- nadmořská výška do 1000 m;
- pro vodní chlazení je nutno použít upravenou vodu bez mechanických nečistot. Doporučená tvrdost vody je maximálně 0,7 mmol/l. V případě nutnosti je třeba použít změkčovačel. Doporučená kyselost chladicí vody je mezi 6,5 až 7,5 pH. Vstupní teplota vody je +5 až +25°C. Maximální množství chladicí vody je 5 l/min při tlakovém úbytku 2 hPa. Chladicí systém je testován při maximálním tlaku 1MPa.

### 3.3. Další technická data

- Krytí motoru:  
Vysokého stupně ochrany před dotykem živých částí se dosahuje zalitím celého vinutí a primárního obvodu motoru do ochranné zalévací hmoty. Protože jsou motory dodávány zpravidla jako vestavné, nelze zajistit ochranu před dotykem pohyblivých částí.
- Tepelná třída izolace „F“ podle ČSN 35 0000 část 1, maximální oteplení vinutí je 105K.
- Vinutí standardního provedení je třífázové, zapojené do hvězdy bez vyvedeného uzlu.
- Tepelná ochrana:  
Vinutí motoru ve standardním provedení je chráněno teplotním čidlem (rozpínací kontakt) umístěném v čelech vinutí a reagujícím při teplotě 125° C. Na přání zákazníka je možno jako teplotní čidlo použít i PTC nebo odporových teploměrů.
- Připojení motoru na měnič:  
Vývod vinutí je standardně řešen ohebným kabelem umožňujícím i napájení pohyblivého primárního dílu. Na přání je možno vinutí motoru vyvést na konektor určený zákazníkem.
- Povrchová ochrana:  
Povrchová ochrana je provedena lakováním černou barvou. Na přání zákazníka je možno použít barvu pro potravinářský průmysl nebo jiný odstín.

### 3.4. Bezpečnost práce

Z důvodu přítomnosti permanentních magnetů ( $B_r \cong 1,2 \text{ T}$ ) na sekundární části je třeba dbát na zvýšenou pozornost při manipulaci s oběma díly lin. motoru.

Přítomnost vysokoenergetických magnetických polí a s tím spojených velkých magnetických přitažlivých sil, může totiž vést jak k přímému (například osoby s kardiostimulátorem), tak k nepřímému ohrožení života (vysoké rychlosti pohybujících se částí stroje).

Co se týká působení magnetického pole na lidský organismus, poslední lékařské nálezy potvrdily, že magnetické pole o indukci menší než 5mT nemá na organismus žádný vliv. Již ve vzdálenosti asi 100 mm je magnetická indukce pole menší než 5mT. Intenzita magnetického pole, jehož zdrojem jsou póly sekundárního dílu lineárního motoru, je konstantní a nezávisí na pracovních podmínkách stroje.

Vzhledem k velké přitažlivé síle je zapotřebí zvýšené opatrnosti v blízkém okolí sekundárního dílu. Z toho důvodu není přípustné, aby bylo s těžkými (> 1kg) nebo velkými (>1dm<sup>2</sup>) objekty vyrobenými z oceli nebo železa manipulováno v přímé blízkosti sekundárních dílů holými rukama. Protože magnetické síly jsou neviditelné, bývají často podceňovány. Přitažlivé síly působí náhle a mohou velmi rychle narůst na hodnotu vyšší než 500 N (50kg) vzhledem k feromagnetickým předmětům nacházejícím se v blízkém okolí.

Úrazy vzniklé přitažením jednotlivých dílů vlivem magnetických sil jsou velmi bolestivé, nepříjemné, zranění se špatně léčí a stejně tak špatně hojí. Při manipulaci je třeba dodržovat jistá pravidla. Ta nejnütnější jsou uvedeny níže.

Hlavní preventivní opatření :

- Zajištění rozmístění výstražných štítků, které jsou dobře viditelné ( „POZOR: V LINEÁRNÍCH POHONECH TOHOTO STROJE SE NACHÁZÍ SILNÉ MAGNETY!“, „SILNÉ MAGNETICKÉ POLE!“, „VELKÉ MAGNETICKÉ PŘITAŽLIVÉ SÍLY!“).
- Nepřibližovat k sekundárním dílům hodinky a elektronické nosiče dat, které jsou citlivé na magnetické pole.
- Vždy užívat pro montáž nebo údržbu pracovní rukavice.
- Osoby s kardiostimulátorem by neměly provádět manipulaci.
- Nepokládat těžké kovové objekty blízko sekundárních dílů lin. motoru.
- Montáž a údržbu provádět školeným personálem.

Typ  
Type  
Typ

L1S

L1SK

L2S

L2SK

L3S

L3SK

LTSK

LNS

LA

**Typ  
Type  
Typ**

- ❑ Pro případ nehody, která by mohla nastat při pracích na lineárním motoru mějte vždy po ruce nejméně dva pevné klíny z nemagnetického materiálu, např. z nerezové oceli (s úhlem mezi 10 a 15°) a rovněž kladivo (cca 3kg). To vše je potřeba k oddělení feromagnetických částí přitažených magnetickým polem k sekundárnímu dílu a popřípadě k následnému uvolnění prstů, rukou či nohou.

Pravidla pro transport a skladování :

L1S

- ❑ Ve skladovacích prostorech je nutné výrobky označit výstražným štítkem („POZOR! SILNÉ MAGNETY!“).

L1SK

- ❑ Nikdy neskladovat bez obalu, vždy užívat speciální nemagnetické balení s elektromagnetickou mezerou 25 mm.

L2S

- ❑ Čtěte a řiďte se výstražnými štítky.

- ❑ Skladovací prostory je nutno udržovat suché.

L2SK

- ❑ Neskladujte při vysokých teplotách.

L3S

- ❑ Při transportu strojů nebo částí strojů s vestavěnými primárními a sekundárním díly je nutné zajistit, aby se tyto díly vůči sobě volně nepohybovaly.

Pravidla pro montáž

L3SK

- ❑ Odstraňte obal sekundárního dílu až těsně před montáží do zařízení.

- ❑ Montážní práce musí provádět vždy dva pracovníci.

- ❑ Pro případ nehody mějte po ruce vždy nejméně dva pevné klíny z nemagnetického materiálu, např. z nerezové oceli (s úhlem mezi 10 a 15°) a rovněž kladivo (cca 3kg). To vše je potřeba k oddělení feromagnetických částí přitažených magnetickým polem k sekundárnímu dílu a popřípadě k následnému uvolnění prstů, rukou či nohou.

LTSK

LNS

- ❑ Nikdy neumísťujte sekundární díl lin. motoru jeho magneticky aktivním povrchem směrem k feromagnetickým částem zařízení.

- ❑ Nikdy neumísťujte primární díl lin. motoru do zařízení přímo proti dílu sekundárnímu.

- ❑ Před montážními pracemi na zařízeních, kde je již sekundární díl nainstalován, opatřete tento díl nemagnetickým krytem s elektromagnetickou mezerou širokou asi 25mm (například dřevěná deska tloušťky 25mm).

- ❑ Vyhněte se jakémukoli samovolnému pohybu (důsledek magnetických sil) primárních a sekundárních dílu lin. motoru, které ještě nebyly vestavěny.

- ❑ Vyhněte se samovolnému pohybu sekundární nebo primární části lin. motoru potom, co již byla sestavena trasa lineárního motoru.

- ❑ Je-li to nutné, užívejte speciální montážní pomůcky.

## 4. Silová charakteristika lineárního motoru

Obecně jsou lineární motory projektovány stejně jako servomotory spíše pro dynamické procesy s širokým intervalem rychlostí posunu a s proměnnou zátěží, než pro trvalá zatížení S1 s konstantní zátěží a s konstantní rychlostí. Z tohoto důvodu mohou být motory zatěžovány podstatně většími silami (proudy) než jmenovitými, pokud jejich střední efektivní hodnota nepřekročí jmenovité hodnoty pro trvalou zátěž S1.

Blank